理学硕士学位论文

山东莱阳盆地上白垩统微体古生物群及其沉积环境

Micropaleontology and sedimentary environment of Upper Cretaceous in Laiyang Basin, Shandong Province

作者　　魏宁

导师　　李守军　教授

山东科技大学

二〇一九年六月

万方数据

中图分类号 P52 学校代码 10424

UDC 密 级 公开

山东科技大学

理学硕士学位论文

山东莱阳盆地上白垩统微体古生物群及其沉积环境

Micropaleontology and sedimentary environment of Upper Cretaceous in Laiyang Basin, Shandong Province

作 者 魏宁 入学时间 2016.09

导 师 李守军 职 称 教授

申请学位 理学硕士 所在学院 地球科学与工程学院

学科（类别）古生物学与地层学 方向（领域）微体古生物

答辩日期 2019.5.30 提交日期 2019.6.5

万方数据

学位论文使用授权声明

本人完全了解山东科技大学有关保留、使用学位论文的规定，同意本人所撰写的学位论文的使用授权按照学校的管理规定处理。

作为申请学位的条件之一，学校有权保留学位论文并向国家有关部门或其指定机构送交论文的电子版和纸质版；有权将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库发表，并可以以电子、网络及其他数字媒体形式公开出版；允许学校档案馆和图书馆保留学位论文的纸质版和电子版，可以使用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编学位论文；为教学和科研目的，学校档案馆和图书馆可以将公开的学位论文作为资料在档案馆、图书馆等场所或在校园网上供校内师生阅读、浏览。

（保密的学位论文在解密后适用本授权）

作者签名：魏宇　　导师签名：

日　　期：2019年6月5日　　日　　期：2019年6月5日

万方数据

学位论文原创性声明

本人呈交给山东科技大学的学位论文，除所列参考文献和世所公认的文献外，全部是本人攻读学位期间在导师指导下的研究成果。除文中已经标明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

若有不实之处，本人愿意承担相关法律责任。

学位论文作者签名：魏宁

2019年6月5日

万方数据

学位论文审查认定书

研究生 魏宁 在规定的学习年限内，按照培养方案及个人培养计划，完成了课程学习，成绩合格，修满规定学分；在我的指导下完成本学位论文，论文中的观点、数据、表述和结构为我所认同，论文撰写格式符合学校的相关规定，同意将本论文作为申请学位论文。

导师签名：

日　　期：2019.6.5

万方数据

摘　　要

山东莱阳盆地上白垩统王氏群红土崖组和金刚口组出土过大量的恐龙化石，但微体古生物化石研究比较缺乏，前人通常进行下白垩统的微体古生物研究较多。本论文主要依据介形类、腹足类化石的属种鉴定、壳饰毛孔类型、壳饰发育情况、壳面蜂窝的形状大小、优势种、水介质及壳瓣的保存状况，再结合采用 ICP-MS 测定样品的微量元素和稀土元素等地球化学特征，对红土崖组和金刚口组进行沉积环境的恢复。研究得出：介形类的优势种为 *Mongolocypris porrecta* Su、*Mongolocypris distributa* Stankeritch、*Cyclocypris valida* Yuan、*Cypridea cavernosa* Galeeva、*Cypridea cuboida* Ye；腹足类优势种为 *Parhydrobia minina* Pan、*Hydrobia langxiensis* Pan 、*Hydeobia anhuiensis* Pan、*Hydrobia datangensis* Yu、*Hydeobia* sp1、*Parateinostoma turriculatum* Yu et Zhang、*Gyraulus* sp.1、*Gyraulus* sp.3。地球化学方面，ΣLREE/ΣHREE、（La/ Yb）$_N$、（Ce/ Yb）$_N$、（La/ Sm）$_N$、（Gd/ Yb）$_N$ 指标数值均反应轻稀土元素与重稀土元素分异较大，为陆相沉积环境； Sr/Ba、B/Ga、B、Sr/Cu、V/Cr、Ni/Co、Eu/Eu*、Ce/Ce*等环境判别指标反应红土崖组和金刚口组样品均为氧化环境，仅在不同指标中有个别样品为贫氧环境或缺氧环境，并且沉积相均为淡水陆相沉积。两者相互结合，共同恢复腹足类化石的沉积环境，对前人一直认为是半咸水环境代表的 *Hydrobia* 与 *Parhydrobia* 进行了重新的认识，发现其在淡水中也可生存，其他 *Valvata*、*ypsobia* 、*Gyraulus* 、*Proauricula* 均生活在淡水浅湖、湖滨及河流沉积环境中。故山东莱阳盆地红土崖组均为河流-湖泊相沉积环境，其中红土崖组沉积时期气候为炎热潮湿，湖泊以浅湖为主；而金刚口组沉积时期气候较红土崖组时期更加湿润，湖泊以滨湖为主。

关键字：莱阳盆地；红土崖组；金刚口组；介形类；腹足类；地球化学；古环境

万方数据

Abstract

A lot of dinosaur fossils have been unearthed from the Red Cliff Group and King Kong Port Group of upper cretaceous Wang Group in Laiyang Basin, Shandong. However, previous studies focus on the micropaleontology of the lower cretaceous and there are relatively few studies on micropaleontology fossils. In the paper, according to the species identification of ostracod fossils, shield pore type, shield development situation, shape size of shell surface cellular, dominant species, water medium and preservation conditions of valve, sedimentary environment restoration was conducted on Red Cliff Group and King Kong Port Group by combining with geochemical characteristics including trace elements and rare earth elements determined by ICP-MS. Based on the research result, the dominant species of ostracoda were *Mongolocypris porrecta* Su, *Mongolocypris distributa* Stankeritch, *Cyclocypris valida* Yuan, *Cypridea cavernosa* Galeeva and *Cypridea cuboida* Ye; the dominant species of gastropod were *Parhydrobia minina* Pan, *Hydrobia langxiensis* Pan, *Hydeobia anhuiensis* Pan, *Hydrobia datangensis* Yu, *Hydeobia* sp1, *Parateinostoma turriculatum* Yu et Zhang, *Gyraulus* sp.1 and *Gyraulus* sp.3. In terms of geochemistry, all the values of SLREE/SHREE, (La/ Yb) N, (Ce/ Yb) N, (La/ Sm) N and (Gd/ Yb) N reflected that there were huge differences between light rare earth elements and heavy rare earth elements, and that it was continental sedimentary environment. Sr/Ba, B/Ga, B, Sr/Cu, V/Cr, Ni/Co, Eu/Eu*, Ce/Ce* and other environmental evaluation indexes showed that the samples in both groups were all oxidized environments; only a few samples in different indexes were oxygen-poor environments or hypoxic environments; the sedimentary facies were all freshwater continental sediments. By combing with them, the sediment of gastropod fossils was inverted. A new understanding about the *Hydrobia* and *Parhydrobia*, which were always considered as the representatives of brackified water environment by predecessors was obtained. Moreover, it was found that they could survive in fresh water, and that other *Valvata*, *ypsobia*, *Gyraulus* and *Proauricula* lived in the fresh water shallow lake, lakeside and river sedimentary environment. To sum up, Red Cliff Group in Laiyang Basin is river and lake (dominated by shallow lake) facies sedimentary environment, with hot and humid climate during sedimentary period, while King Kong Port Group has more humid climate during sedimentary period and lakes there are dominated by lakeside.

Keywords: Laiyang Basin; Red Cliff Group; King Kong Port Group; Ostracod; Gastropod; Geochemistry; Paleoenvironment

万方数据

目 录

图清单…… I
表清单…… I
1 前 言……1
1.1 课题来源及选题依据……1
1.2 研究目的及意义……2
1.3 研究内容及技术路线……3
2 研究区地质背景……5
2.1 地质构造……5
2.2 地层岩石性质……5
3 材料及方法……7
3.1 样品采集……7
3.2 化石实验室处理方法……9
3.3 样品地球化学分析方法……10
4 介形类与腹足类化石分析……11
4.1 研究区发现的介形类……11
4.2 研究区发现的腹足类……19
5 元素地球化学分析……26
5.1 微量元素特征……27
5.2 稀土元素特征……28
5.3 古环境分析……31
6 讨论……34
6.1 区内古生物群恢复古环境……34
6.2 区内地球化学恢复古环境……40
7 结论……42
参考文献……43

万方数据

附录 1（图版说明、图版Ⅰ-Ⅵ）……48
作者简历……58
致谢……59
学位论文数据……60

万方数据

Contents

List of Figures……..…… Ⅰ

List of Tableles……II

1 Introduction……..1

1.1 Subject source and subject selection basis……1

1.2 Research purpose and significance……2

1.3 Research content and technical route……3

2 Geological background of the study area…….……..……..……5

2.1 Geological structure……..……5

2.2 Formation rock property..……..……..……5

3 Materials and methods……..……..……..……...…7

3.1 Sample collection…….. ……..……7

3.2 Fossil laboratory processing methods……9

3.3 Sample geochemical analysis method…….……10

4 Analysis of ostracoda and gastropod fossils……..……..……11

4.1 Gastropods found in the study area……. ……..……11

4.2 Gastropods found in the study area……19

5 Geochemical analysis of elements……..……..……25

5.1 Trace element characteristics……..……27

5.2 Characteristics of rare earth elements……28

5.3 Paleoenvironmental analysis……31

6 Discussion……..……..……..……..……34

6.1 Discussion on the paleoenvironment inversion of the paleogroup in the study area……..……..……34

6.2 Discussion on geochemical inversion of paleoenvironment in the study area……..……..……..……..……..……40

7 Conclusion……..……..……..……..……42

References…..……..……..……..……..……43

Appendix 1 (chart, the chart Ⅰ-Ⅵ)…..……..……..……48

万方数据

Author's Resume…..……..……..……..……..……58
Acknowledgements…..……..……..……..……..……59
Thesis Data Collection……60

万方数据

图清单

图序号	图名称	页码
图 1.1	论文研究路线图	4
Fig. 1.1	Research roadmap	4
图 2.1	研究区剖面位置图	6
Fig.2.1	The profile location of the study area	6
图 3.1	取样地层剖面图	8
Fig.3.1	T Sampling stratum profile	8
图 3.2	地球化学样品地层岩性柱状图与采样位置	8
Fig. 3.2	The stratigraphic lithologic histogram and sampling location of the geochemical sample	8
图 4.1	生物地层综合柱状图	12
Fig. 4.1	Bio-stratigraphic composite columnar map	12
图 5.1	样品微量元素 NASC 标准化蛛网图	28
Fig.5.1	The NASC-normalized trace element pattern of the samples	28
图 5.2	样品稀土元素配分图	30
Fig.5.2	The REE pattern of the samples	30
图 5.3	元素相关性图	30
Fig.5.3	The correlations of elements	30
图 5.4	B/Ga 与 Sr/Ba 古盐度分析判别图	32
Fig.5.4	The paleosalinity discriminant diagrams between B/Ga and Sr/Ba	32
图 5.5	红土崖组、金刚口组氧化还原判别图	33
Fig.5.5	The redox discriminant diagrams of Hongtuya and Jingangkou formations	33

万方数据

表清单

表序号	表名称	页码
表 1.1	论文的主要工作量	3
Table.1.1	The main workload of the paper	3
表 5.1	红土崖组和金刚口组微量、稀土元素含量（10^{-6}）	26
Table.5.1	The content of trace elements and rare earth elements in Hongtuya and Jingangkou formations	26
表 5.2	古环境特征指标分析	29
Table.5.2	The palaeoenviroment characteristics index analysis	29
表 6.1	莱阳盆地白垩纪介形属、种统计表	36
Table.6.1	Tablele about the water quality distribution of cretaceous ostraceous fossils in Laiyang Basin	36
表 6.2	莱阳盆地白垩纪介形类壳饰发育统计	37
Table.6.2	Statistics of shield development in cretaceous period in Laiyang Basin	37
表 6.3	莱阳盆地白垩纪介形类化石水质分布表	38
Table.6.3	Tablele about the water quality distribution of cretaceous ostraceous fossils in Laiyang Basin	38
表 6.4	各项带特征标志表	38
Table.6.4	Tablele of each facies characteristic mark	38
表 6.5	红土崖组与金刚口组介形类壳饰与沉积特征表	39
Table.6.5	Tablele of ostracoda and sedimentary features of shield in Red Cliff Group and King Kong Port Group	39
表 6.6	介形类化石生态特征与湖盆变化关系	39
Table.6.6	The relationship between the ecological characteristics of ostracoda fossils and lack basin change	39
表 6.7	盆地白垩纪腹足类属、种统计及水介质分布表	40
Table.6.7	Tablele about the statistics of genus and species of gastropods in cretaceous period and the distribution of water medium in the Laiyang basin	40

万方数据

1 前　言

1 Introduction

1.1 课题来源及选题依据(Subject source and subject selection basis)

1.1.1 课题来源

本课题来源于第 21 届国际沉积学大会资助“鲁东莱阳—诸城—灵山岛白垩纪河流-湖泊相地层、沉积和生物群”项目。本课题为该项目的一部分，研究区为山东莱阳盆地，地质年代为晚白垩世王氏群红土崖组和金岗口组，这两个组都为含恐龙层位。剖面路线为山东莱阳白垩纪国家地质公园碑北-标志碑东北角距直线距离 200 米-山东莱阳白垩纪国家地质公园 1 号馆-山东莱阳白垩纪国家地质公园 2 号馆-金岗口村最东南角。本论文主要通过山东莱阳白垩纪国家地质公园 1 号馆和金刚口村的红土崖组和金刚口组两个含恐龙化石地层中介形类、腹足类化石和微量元素化学分析，鉴定其微体古生物群的属种及其地质意义、结合样品微量、稀土等元素地球化学特征进行分析，恢复鲁东晚白垩世王氏群红土崖组和金岗口组的沉积环境。

1.1.2 选题依据

近年来科技发展迅速，实验研究设备和方法都有了进一步的提高，加速了地质科学的发展并加深了其研究进程，微体古生物学得到了进一步的发展。微体古生物学是地质科学的基础学科，在地层划分、恢复古环境、矿产资源的勘察等方面的研究中起到重要的作用。在中生代晚期的生物地层沉积序列中，微体古生物化石保存较完好并广泛分布，恢复古地理和进行地层的划分和对比的最主要方法之一就是微体古生物化石方法[1]。通过对生物化石及其组合特征的研究建立精确的生物地层格架，为恢复和重建古环境，追踪重大地质事件和准确的确定地层时代提供时间信息。

元素地球化学、稳定同位素地球化学和有机地球化学原理的应用，统称为沉积地球化学在古环境分析中的应用。沉积地球化学是一门将地球化学和沉积学相互结合的学科。其研究对象为沉积物和沉积岩，研究内容为其在沉积-成岩过程中所涉及的元素和同位素迁移、聚集与分布规律。其主要的研究领域为对沉积岩中化学成分、元素及其同位素的分布与分配、分散与集中、共生组合、迁移规律和演化历史进行研究和对控制并且影响元素及其同位素运动和变化的种种因素进行研究[2-3]。前人常在划分海陆相地层、恢复古气候、分析物源区岩石成分、

万方数据

对不含生物的地层进行对比等方面运用元素地球化学手段，目前已经广泛运用的元素比值如：Sr/Ba、B/Ga、B、Sr/Cu、V/Cr、Ni/Co、Eu/Eu*、Ce/Ce*、ΣLREE/ΣHREE、（La/ Yb）$_N$、（Ce/ Yb）$_N$、（La/ Sm）$_N$、（Gd/ Yb）$_N$等判别海陆相、古地理环境，古盐度、古气候、氧化还原性、水盆深度及离岸距离等沉积条件[4]。

1.2 研究目的及意义(Research purpose and significance)

1.2.1 研究目的

本课题以莱阳盆地采集的岩石样品和化石为依据，采用微体古生物学和元素地球化学两种手段对样品进行分析，利用介形类、腹足类及其他微体古生物的分布特征，进行定量分析，识别各微体古生物的组合，再结合“将今论古”原理，探讨生物群的生活环境，进一步推断和还原莱阳盆地晚白垩世的古生物群的埋藏过程；鉴定古生物群的属种，结合元素地球化学的分析，恢复重建古环境。

1.2.2 研究意义

生物的发生、发展、繁盛、衰退乃至消亡都是由环境的变化影响和控制的，在不同环境生存着不同的生物。生物演化的两个主控因素为生物间的相互作用和环境的物理化学条件，湖盆规模大小、水体深度、水体温度、水质、水体的盐度、水体的酸碱度、氧化还原程度、水体的动荡情况、沉积底床的性质，以及有机质的丰度都对生物的发育、繁盛、死亡及其保存情况起着控制作用。因此，以古论今，深入研究微体古生物化石群的生态，对古环境的恢复及沉积相指示起到重要作用[5]。

莱阳盆地是中国重要的中生代陆相盆地，位于山东半岛莱阳市，在王氏群沉积期构造运动影响抬升后遭受剥蚀，其后莱阳凹陷发育成南断北超，西端东超的断陷盆地是由五龙村断裂和周格庄断裂的强烈活动引起的[6-8]，林家庄组为该沉积期的早期主要以洪积相-河流冲积相沉积为主，岩性为紫红色砾岩和粉砂岩；其后的辛格庄组为浅湖相沉积为主，这一时期盆地加速沉降，岩性为细砂岩和粉砂岩；莱阳盆地是中国重要的中生代陆相盆地，在此盆地产出多种多样的古生物化石，以种类丰富，保存完好，数量众多为主要特点[9]，研究此区域古环境和古地理的有效方法为微体古生物学方法，如下为该区王氏群前人发现的微体古生物化石，为本论文的分析研究奠定了坚实的基础。

由于在该区采集的样品中大部分并没有发现微体古生物学化石，所以本论文将微体古生物学与元素地球化学分析相结合，对沉积环境的海陆相判别、古地理环境，古盐度、古气候、氧化还原性进行了探讨。恢复古环境特征的重要手段之一正是运用地球化学特征，近年来随着科技的逐渐进步，岩石地球化学分析手段

万方数据

进一步发展，运用沉积岩在沉积成岩过程中元素的迁移和富集规律进行古环境的分析研究已成为常用的技术手段，本论文也将用到各微量、稀土元素含量、比值与分布特征来获得研究区红土崖组和金刚口组的古盐度特征、古温度、古气候及古氧化还原特征等多种沉积环境指标，进一步恢复古环境。

1.3 研究内容及技术路线(Research content and technical route)

1.3.1 研究内容

本论文以莱阳盆地晚白垩世王氏群红土崖组和金刚口组采集的岩石样品和介形虫化石为研究对象，主要研究内容有以下几方面：

（1）莱阳盆地晚白垩世介形类、腹足类及其他微体古生物的属种及分布特征研究

处理样品挑选出不同属种的介形类、腹足类及其他微体古生物，分析出莱阳盆地上白垩统介形类、腹足类及其他微体古生物的属种，及其在研究区的分布。

（2）探讨莱阳盆地上白垩统的地层意义和与国际地层的对比

在研究中结合沉积学和沉积岩石学，按照＂将今论古＂的原理，对化石和化石群落进行对比，进而与国内地层进行划分和对比。

（3）沉积环境的恢复

分析和研究介形类、腹足类及其他微体古生物化石的形态、构造、化学成分和相关特征来探究莱阳盆地晚白垩世的生态、气候和沉积环境。地球化学特征对于恢复沉积环境特征具有重要意义，本次研究中通过多种地化指标的综合运用，对沉积环境氧化还原状态、沉积介质的古盐度、古气候进行了探讨。

1.3.2 完成的主要工作

2018 年 2 月，导师提出并确定了毕业论文的题目为“山东莱阳盆地上白垩统微体古生物群及其沉积环境”，随后便开始论文的准备和编写，历时 1 年半，主要工作见下表 1.1。

表 1.1 论文的主要工作量

Table 1.1 The main workload of the paper

序号	主要工作	工作量
1	野外剖面勘探	15 天
2	野外照片	60
3	采集样品	28 个
4	收集前人研究资料	160 篇文献，16 篇专著
5	微体化石挑样	453 个
6	化石拍照	710 张
7	微量元素地化分析	10 个样品 47 个元素

万方数据

1.3.3 研究思路及技术路线

本论文以莱阳盆地晚白垩世采集的岩石样品和介形类、腹足类及其他微体古生物化石为研究对象，通过介形类、腹足类及其他微体古生物属种鉴定和统计，对晚白垩世的介形类、腹足类及其他微体古生物组合特征及地层意义进行研究，并进一步讨论其与国际地层的对比，结合地球化学元素测定，最终恢复沉积环境，本论文的技术路线如图 1.1 所示。

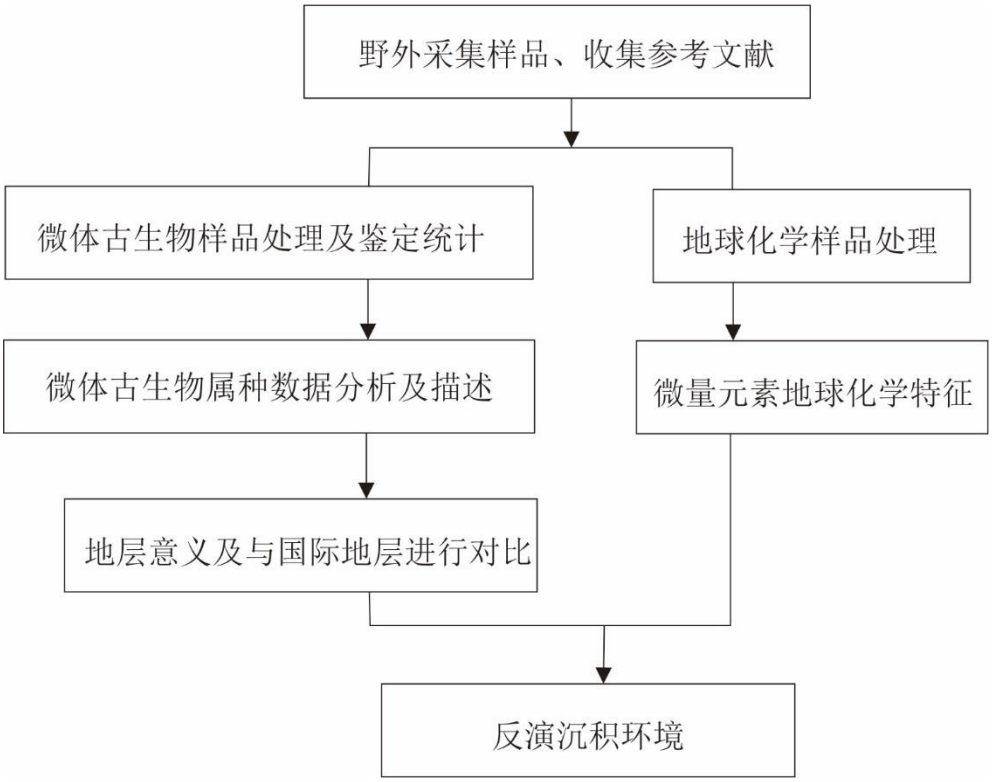


图 1.1 论文研究路线图

Fig. 1.1 Research roadmap

万方数据

2 研究区地质背景

2 Geological background of the study area

2.1 地质构造(Geological structure)

胶莱盆地是典型的中生代晚期伸展断陷盆地，位于华北克拉通东部，走向南北，盆地西侧为 NNE 向的沂沭断裂带，东侧为 NNE 向的牟平-即墨断裂带[10]。胶莱盆地分别有大野头凸起、马山—李党家低凸起、莱阳凹陷、夏格庄—平度凹陷, 高密凹陷、诸诚凹陷、海阳凹陷[11]。盆地经历了燕山运动和喜马拉雅运动的改造，发生强烈的构造变形、岩浆活动和剥蚀作用。构造演化分为 5 个阶段：莱阳组早期裂陷期、青山组扩展裂陷期、挤压褶皱期、王氏再次拉分裂陷期和最后的新生代抬升剥蚀期[12]。

2.2 地层岩石性质(Formation rock property)

莱阳盆地地层分区为鲁东地层分区的莱阳—海阳地层小区[13-15]（如图 2.1 所示），发育在华北克拉通变质基底上面[16]，盆内断裂以 EW 向为主，如南缘五龙村断裂。盆地的形成经受了热力、叠合埋深、构造变形和隆升剥蚀等地质作用的改造[17-21]。

莱阳盆地白垩纪地层自上而下为莱阳群、青山群和王氏群。王氏群自上而下分别为：林家庄组、辛格庄组、红土崖组、金刚口组和胶州组[22]。本文以王氏群红土崖组和金刚口组地层为研究对象，研究区位于亚热带，多为季节性降雨。

红土崖组主要岩性为一套砖红色细、粉砂岩夹砾岩，其中砖红色细、粉砂岩表示炎热潮湿环境，金刚口组主要岩性为粗砂岩 、砂砾岩、泥质粉砂岩[23]。

红土崖组和金刚口组是莱阳盆地最主要的恐龙化石产出层位，其中发现了新中国第一具恐龙-棘鼻青岛龙（*Tsintaosaurus spinorhinus*）[24]，以及金刚口龙（*Chingkankousaurus*）、似甘氏四川龙（*Szechuanosauras*）、金刚口谭氏龙（*Tanius-sinensis*）、莱阳谭氏龙（*Taniuslaiyangensis*）[25]和多达 10 层的恐龙蛋化石[26]，并且挖掘出在中国发现的第二具龟蛋化石（*Emydoolithus laiyangensis*）[27]。

万方数据

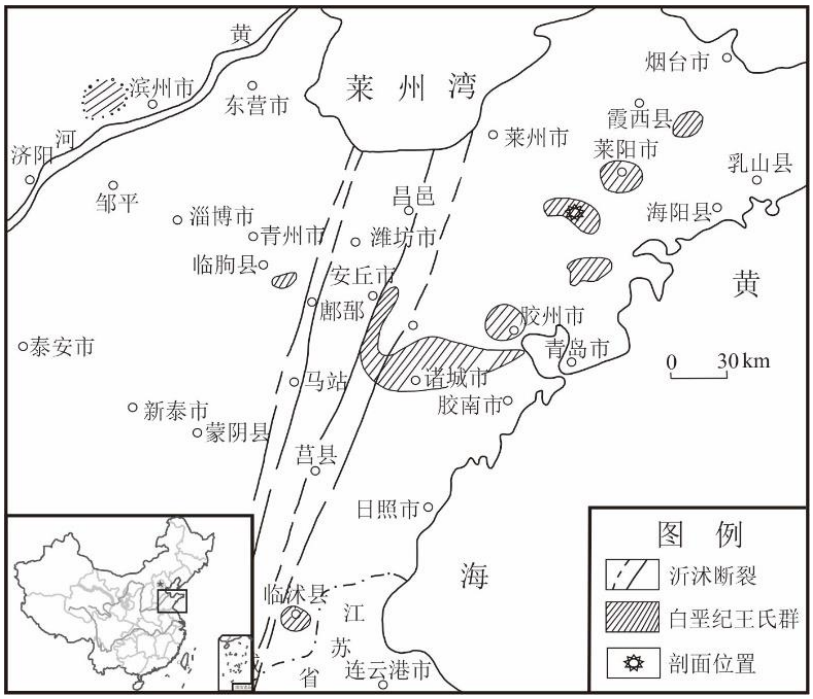


图 2.1 研究区剖面位置图

Fig. 2.1 The profile location of the study area

万方数据

3 材料及方法

3 Materials and methods

3.1 样品采集(Sample collection)

本论文的样品采集剖面位于山东省莱阳市山东莱阳白垩纪国家地质公园附近，剖面路线为莱阳山东莱阳白垩纪国家地质公园碑北-标志碑东北角距直线距离 200 米-莱阳山东莱阳白垩纪国家地质公园 1 号馆-莱阳山东莱阳白垩纪国家地质公园 2 号馆-金岗口村最东南角。野外实地考察剖面岩性具体如下：（1）位置为莱阳山东莱阳白垩纪国家地质公园碑北，地层为红土崖组，岩性为灰白色夹暗红色砾石含量较高的粗砂岩夹砂砾岩，其中砾石为次棱角状，磨圆度为中至好，粒径 3mm-4cm，岩层以粗-细互层为特征，河流相二元结构发育，河流相沉积物与河漫滩沉积物互层，其中红棕色泥岩和砂岩交互为沙坝，表示为炎热干燥环境，并有小断层发育。形成原因可能为地壳升降、沉积物物源供应，物源充填如洪水等和河流下切作用但并不强烈。（2）位置为标志碑东北角距直线距离 200 米，为红土崖组近南北向冲沟，粗砂岩厚度大于 5m，在此取样 J1、J-2、J-3、J-4、J-5。（2）位置为莱阳山东莱阳白垩纪国家地质公园 1 号遗址馆，在此取样 J8、J-9、J-10、J-11、J-12；3）位置为莱阳山东莱阳白垩纪国家地质公园 2 号遗址馆，含化石的层位为 5 层。第五层岩性为红棕色的含砾粗砂岩，层厚约 90cm，在相距半米的位置相继采样 J-13、J-14；第四层岩性为紫红色为主夹有灰白色泥质粉砂岩，采样 J-15；第三层岩性为灰绿色砂岩夹紫红色砂岩，是红土崖组和金刚口组的界线，取样 J-16、J-17 二层地层为莱阳山东莱阳白垩纪国家地质公园 2 号遗址馆的地层，是金刚口组的底，有微微的不整合发育；第一层岩性为灰白色泥质粉砂岩夹灰绿色含碳屑泥质粉砂岩，取样 J-18、J-19（4）位置为金岗口村最东南角，此处发育一新近系断层构造为金刚口组与红土崖组的分界线，上盘为金刚口组下降，下盘为红土崖组上升，为正断层，此处金刚口组的岩性为灰绿色泥质粉砂岩夹砂岩。在此取样 J-22、J-23、J-24、J-25、J-26；金刚口组最高层为岩性为灰白色含砾砂岩与深棕色泥质粉砂岩互层，垂直厚度大于 15m，顶部为剥蚀面，取样 J-27、J-28。

从野外实地研究剖面上共采集 28 个样品，取样地层剖面详见图 3.1。在选取采样点位置时，排除了岩性颗粒粗大，颜色灰白的地层，仅采用颗粒细，颜色深，富含稀土矿物的地层取样，取样原理是去除上覆的氧化部分，取新鲜出露的岩石。所有的样品都被收集并储存在采样袋中，尽可能减少外部环境的污染和氧化。其中进行元素地球化学特征分析的样品有 10 个，红土崖组 6 个，岩性都为灰白色、

万方数据

暗红色粉砂岩，金刚口组 4 个，岩性都为灰绿色粉砂岩，具体采样位置，岩性组合，地球化学样品分析数量详见图 3.2；镜下发现微体古生物化石的样品有 4 个，红土崖组为样品 J-15，金刚口组为样品 J-18、J-23、J-24。

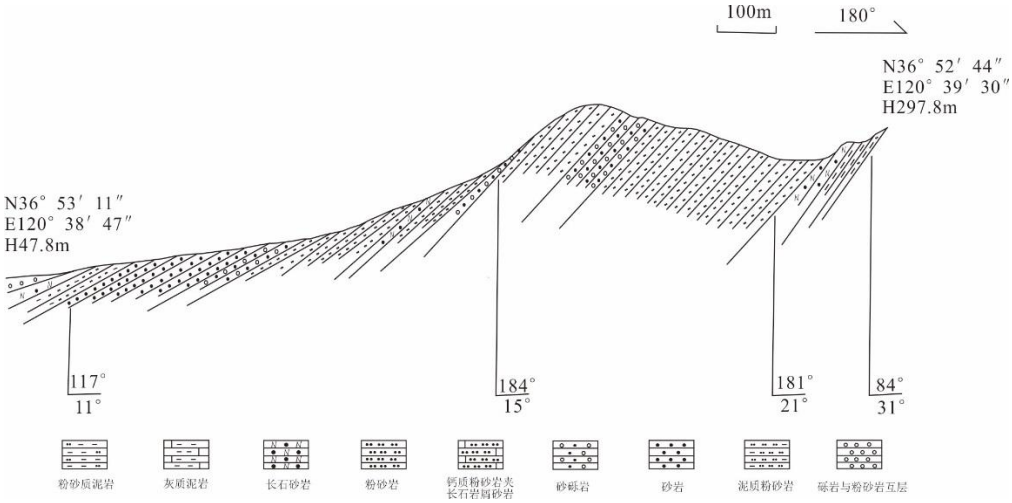


图 3.1 取样地层剖面图

Fig. 3.1 Sampling stratum profile

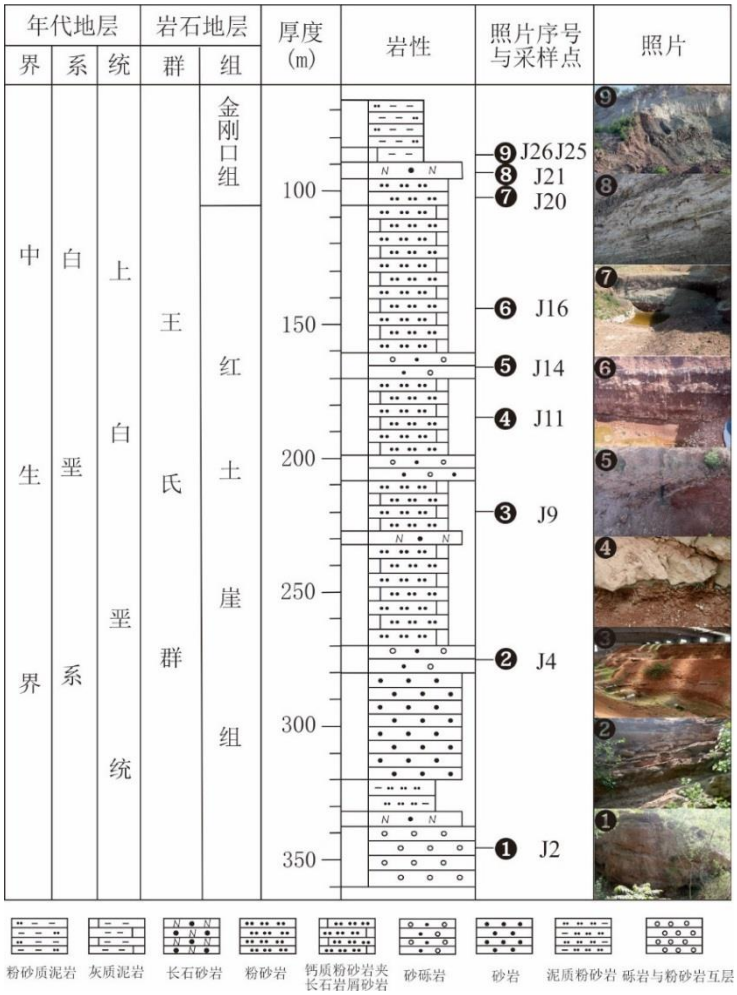


图 3.2 地球化学样品地层岩性柱状图与采样位置

Fig. 3.2 The stratigraphic lithologic histogram and sampling location of the geochemical sample

万方数据

3.2 化石实验室处理方法(Fossil laboratory processing methods)

微体化石的实验室处理周期长并且步骤繁琐，但却是地层对比分析的基础资料，是本次研究的重点。山东莱阳盆地出土恐龙化石的王氏群红土崖组和金刚口组岩石种含有丰富的微体化石，因这两组的岩石岩性大都为砂岩，质地较为松软，实验室处理流程为：碎样、称样、泡样、冲样（过滤）、烘干、称量、挑样、拍照获得微体古生物化石。具体流程方法如下[28-29]：

（1）碎样:在平整干净的水泥地面上铺上几张干净的 A4 纸，并把纸的边折起来以防止砸样时样品的外溅，也可以在纸张下面垫个硬纸壳。将样品置于纸上，用地质锤低高度缓慢的轻敲，碎至 0.5—1 厘米大小。需要注意的是：在碎每一个样品之前都要换新的 A4 纸，并把地质锤也擦干净，防止样品之间的相互污染。

（2）称样：称取 100g 碎样，倒入烧杯中并编码，剩余样品保留在样品袋中。

泡样：在烧杯中加入清水进行浸泡，水位接近烧杯口，持续浸泡 1-2 个星期，并每间隔 2 天用玻璃棒搅拌一下，使其更加容易泡开至完全分离，需要注意的是：用玻璃棒搅拌每个样品之前需将玻璃棒冲洗干净，防止样品之间相互污染。

（3）冲样（过滤）：样品泡好之后，需要在水流下冲洗过滤，在研究前人发现的微体古生物学壳体大小后，选取 20 目、40 目和 100 目的套筛进行过滤筛洗。期间采用过 200 目，并未有微体古生物发现，所以将其去掉。上筛选用 20 目，过滤掉未完全溶解的岩石和较大的颗粒，为后期的挑样工作减压，中筛选用 40 目，将粒径相差较大的微体古生物分离开，大粒径的选用体视镜拍照，小粒径的用电镜拍照，下筛选用 100 目，可保留下较小粒径的微体古生物学。在水流下冲洗时，将筛网斜放从上至下反复冲洗，直至筛网冲刷干净并套筛底流出清水为止。将上、中、下筛网中残留物冲入蒸发皿中并编码，静置至水澄清，再用滴管将过多的水吸取出去。需要注意的是：在每个样品冲洗过滤之前，需将套筛冲洗干净，防止样品间的相互污染。

（4）烘干：将蒸发皿置于烘箱中烘干，50℃的恒温，时间为 6-8 小时左右。将烘干后的样品装入样品袋中并编号，称重并记录。

（5）挑样：将 20-40 目中过滤烘干后的样品在体视镜下挑样，需用到的工具为光学显微镜、挑样板、挑样针、挑样镊子、离心管、专用样品盒。将烘干的样品倒入挑样板上用挑样针轻轻均匀摊平，镜挑样板放入置物台上，打开并调整好外接光源，在光学显微镜下调整好放大倍数和清晰度，用挑样针将铺平的样品分区，这样能避免重复挑样，用挑样针缓慢轻柔扒样，发现微体化石后将针头沾水额能更好的将其粘起放入离心管中，确保一个化石一个离心管，记录并编码，直至全部挑完，需要注意的是：在挑每个样品之前需把样品板擦干净，防止样品之间相互污染。在粘取微体化石时需用力轻微，否则容易将化石弹丢或使其破碎。

万方数据

（6）拍照：按照微体古生物不同的粒径采用不同的设备拍照，20-40 目的化石用体视镜拍照，40-100 目的化石用扫描电镜拍照。在体视镜下拍照一开始用的时白色橡皮泥进行固定及翻面，但是会随着时间粘性消失并且容易粘连在化石上，后采用双面碳导电胶带，粘性永久并不沾粘化石，粒径大的化石用挑样镊子拿取、翻面，粒径小的化石用挑样针。需要注意的是：拍照时需用多张照片合成最清楚，单拍一张不清楚。

3.3 样品地球化学分析方法(Sample geochemical analysis method)

样品的微量元素和稀土元素由中科院地质与物理研究所兰州油气资源研究中心采用英国 nu 公司 attom 电感耦合等离子质谱仪（ICP-MS）测定，分析精度 1%。

万方数据

4 介形类与腹足类化石分析

4 Analysis of ostracoda and gastropod fossils

4.1 研究区发现的介形类(Ostracoda found in the study area)

山东莱阳盆地上白垩统红土崖组发现的介形类化石保存完整，金刚口组也有介形类化石发现，但因其化石破碎严重，多数为半壳，故无法判断具体属种，其中古生物化石发现于红土崖组粉砂岩；金刚口组粉砂岩、长石砂岩、灰质泥岩层位中。金刚口组介形类化石相较于红土崖组具有显著破碎的特征，具体原因还需讨论。这里仅分析完整的红土崖组的介形类化石[30-31]。发现有 *Cypridea*、*Candona*、*Mongolocypris*、*Mongolianella* 、*Neimongolia*、*Cyclocypris*、 *Lycopterocypris*、*Triangulicypris* 属，其中 *Cypridea* 属的主要分子为 *Cypridea cavernosa* Galeeva、*Cypridea cuboida* Ye、*Cypridea nota* Ye、*Cypridea applanata* Ye、*Cypridea eximia* Ye、*Cypridea* SP1，其属种数占发现属种总量的 21.4%；*Candona* 属的主要分子为 *Candona minora* Ye et Chen、*Candona trigona* Ye、*Candona glaber*(Su)、*Candona fornicata* Ye、*Candona fabiforma* Huang、*Candona* SP1，其属种数占发现属种总量的 21.4% ；*Mongolocypris* 属的主要分子为 *Mongolocypris porrecta* Su、*Mongolocypris distributa* Stankeritch 、*Mongolocypris longiuscula* Zhang 、*Mongolocypris saertuensis* Huang、*Mongolocypris Tableulata*(Ding) 、*Mongolocypris* sp1 ，其属种数占发现属种总量的 21.4%；*Mongolianella* 属的主要分子为 *Mongolianella sectila* Huang et Ye 、*Mongolianella palmosa* Mandelstam 、*Mongolianella* sp1，其属种数占发现属种总量的 10.7%；*Neimongolia* 属的主要分子为 *Neimonggolia ovala* Ye、*Neimongolia subwuerxunensis* Ye； *Cyclocypris* 属的主要分子为 *Cyclocypris valida* Yuan、*Cyclocypris* sp1；*Lycopterocypris* 属的主要分子为 *Lycopterocypris subovatus* Ye、*Lycopterocypris imparilis* Ye；*Triangulicypris* 仅发现一种为 *Triangulicypris uniformis* Ye。化石采样点和具体属种详见图 4.1。

山东莱阳盆地红土崖组的优势属种为 *Cypride*a 与 *Candona*，其属种数占发现属种总量的 22%。*Cypridea* 在白垩纪早期、晚期均发现，除在研究区发现外，全国广泛分布， *Cypridea* 多见于西北、华北、东北、中南和华东等地区。*Mongolocypris* 的属种数与 *Cypridea*、*Candona* 相同皆占 22%，这三个属为晚白垩世常见的属种，具有明显的特殊性和代表性。在华北地区分布于内蒙古二连盆地二连达布苏组、河套地区乌兰湖少组、海拉尔盆地青元岗组；在西北地区发现于青海民和、乐都地区民和组；在西南分布于四川宜宾、屏山高坎坝组，仁寿、乐山及川西雅安、天全、邛崃灌口组；中南地区分布于湖南衡阳盆地戴家坪组、

万方数据

沅麻盆地锦江组、洞庭盆地分水坳组，宜昌、当阳、荆门、宜都跑马岗组，广东南雄盆地南雄组，福建莆田石帽山群下段。华东地区分布于山东莱阳王氏群上段，江苏句容赤山组，苏北泰州组，安徽南部宣南组，金衢盆地曲江群，南黄海盆地千南组。东北地区见于松辽平原嫩江组上段及四方台组合明水组。中国北部介形类属种与同期蒙古的类群相似，前人在内蒙古阿拉善右旗雅布赖盆地金刚泉群发现 *Cyclocypris*，属于晚白垩世早期化石。*Mongolianella* 前人多发现于早白垩世时期，并且分布并不广泛，仅见于东北、华北、中南、西南四区的部分地区，例如浙江建德寿昌地区寿昌组上段。此次是其在山东莱阳盆地红土崖组的首次发现。同样是在此地区晚白垩世首次发现的还有 *Neimongolia*、*Triangulicypris* *Lycopterocypris*[32-51]。

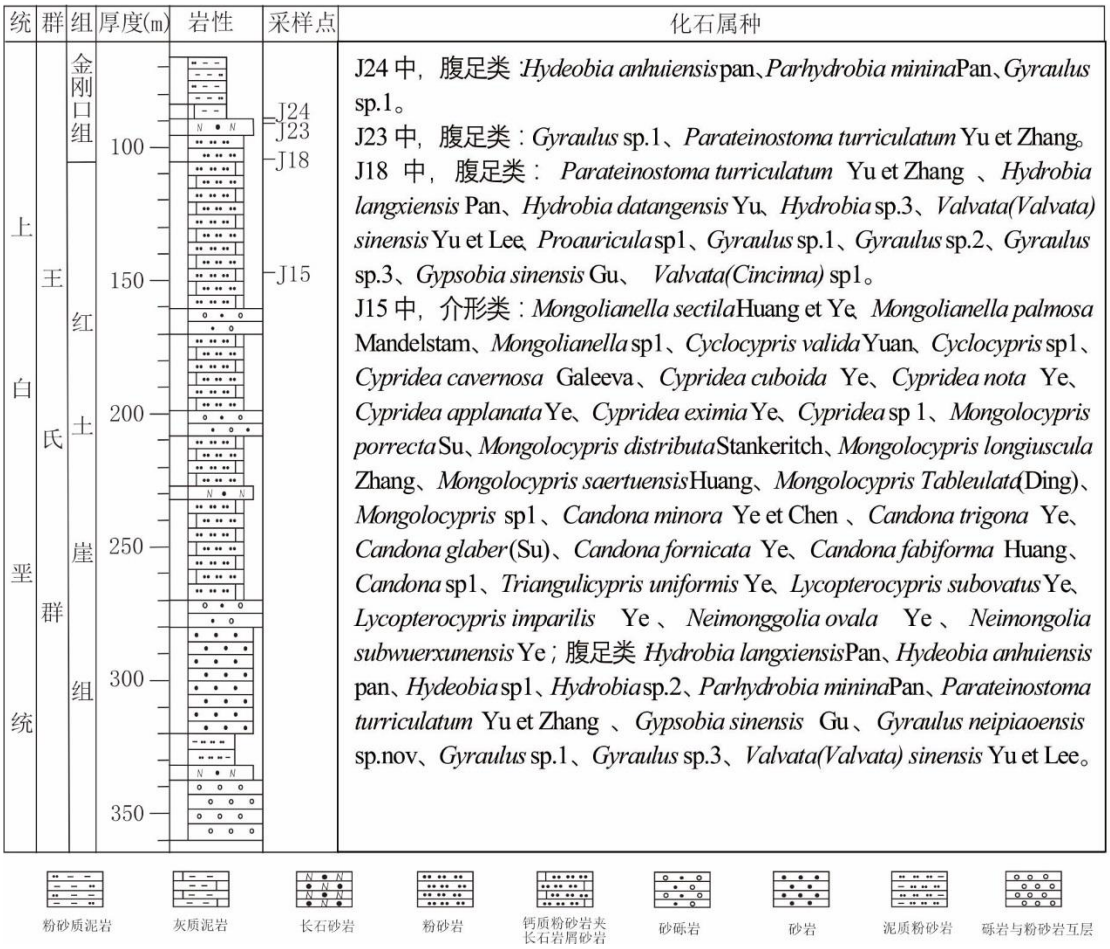


图 4.1 生物地层综合柱状图

Fig. 4.1 Bio-stratigraphic composite columnar map

4.1.1 属种描述

女星介科 *Cypridideidae Martin*, 1940

女星介属 *Cypridea Bosquet*, 1852

网状女星介 *Cypridea cavernosa* Galeeva

万方数据

(图版Ⅰ，图 6)

描述：壳体中等偏大，侧视为长椭圆形，背视呈纺锤形，凹度中等。前端高于后端或近等高。左壳大于右壳，背、腹部包缘，后端呈檐状超覆。背缘直，约为壳长的三分之二，两端呈圆形弯曲或前端上部倾斜，下部呈圆弧形弯曲，后端呈近均等的圆弧形弯曲。腹缘直，背缘与腹缘平行，前缘具有明显的壳喙与凹痕。壳体最大厚度为中后部，最大高度为壳前三分之一处。壳面具蜂窝状网纹。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

近方形女星介 *Cypridea cuboida* Ye

(图版Ⅰ，图 7)

描述：壳体小，侧视为近矩形，背视呈梭形，凹度中等。背、腹缘直并近于平行。前端稍高于后端，前端具有明显背角，常呈宽圆顿角状。前端上部倾斜，下部呈圆弧形弯曲，后端均弯曲成圆弧形。前腹缘具有明显的壳喙与凹痕。左瓣壳大于右瓣壳。最大高度为壳前四分之一处，最大厚度为壳体后三分之一处。壳面具蜂窝状网纹。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

友谊女星介 *Cypridea nota* Ye

(图版Ⅱ，图 1)

描述：壳体小，侧视为近矩形，背视呈梭形，凹度小。背、腹缘直，后倾。前端稍高于后端，前端具有明显背角，常呈宽圆顿角状。前端上部倾斜，下部呈圆弧形弯曲，后端均弯曲成圆弧形。前腹缘具有明显的壳喙与凹痕。左壳大，背、腹部包缘，后端呈檐状超覆。最大高度为壳前四分之一处，最大厚度为壳体后三分之一处。壳面具蜂窝状网纹。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

扁平女星介 *Cypridea applanata* Ye

(图版Ⅱ，图 2)

描述：壳体小，侧视为近矩形，背视呈梭形，厚度不大，凹度中等。左瓣壳大于右瓣壳。前、后、背、腹缘包覆明显。背缘直，后倾，前端高于后端，具有明显背角，常呈宽圆顿角状。腹缘直，前缘具有明显的壳喙与凹痕。壳体前端上部倾斜，下部呈圆弧形弯曲，后端均弯曲成圆弧形。最大高度为壳前四分之一处，最大厚度为壳体后四分之一处。壳面具蜂窝状网纹。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

优美女星介 *Cypridea eximia* Ye

(图版Ⅱ，图 3)

万方数据

描述：壳体小，侧视为近矩形，背视呈梭形，凹度中等。背缘直，后倾，前端高于后端，前端具有明显背角，常呈宽圆顿角状，前端上部倾斜，下部呈圆弧形弯曲，后端均弯曲成圆弧形。前腹缘具有明显的壳喙与凹痕。左壳大，前、后端包缘。最大高度为壳前四分之一处，最大厚度为壳体后四分之一处。壳面具蜂窝状网纹。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

女星介未定种 *Cypridea* sp 1

(图版Ⅱ，图 4)

描述：壳体中等，侧视为近矩形，背视呈梭形，厚度不大，凹度中等。背缘微凸，后倾，前端高于后端，前端具有明显背角，常呈宽圆顿角状，前端上部倾斜，下部呈圆弧形弯曲，后端均弯曲成圆弧形。前腹缘具有明显的壳喙与凹痕。左壳大，前、后端包缘。最大高度为壳前四分之一处，最大厚度为壳体后三分之一处。壳面具蜂窝状网纹。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

玻璃介科 Candonidae Daday,1900

玻璃介属 Candona Schneider,1956

较小玻璃介 *Candona minora* Ye et Chen

(图版Ⅲ，图 4)

描述：壳体微小，侧视为肾形，背视呈纺锤形，两侧厚度变化较均匀，左瓣壳大于右瓣壳。前、后、腹缘包覆。左壳后缘超越右壳呈细窄月牙形，右壳前缘超越左壳呈窄月牙形。背缘微向外凸，腹缘向内凹。前端低，上部倾斜向下，下部微尖圆形，后端均匀弯曲成圆形。最大高度与最大厚度均位于壳体中偏后处。壳面光滑。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

三角玻璃介 *Candona trigona* Ye

(图版Ⅲ，图 5)

描述：壳体小，侧视为近三角形，背视呈纺锤形，厚度不大，凹度中等。背缘外凸，腹缘直或微向外凸。左瓣壳大于右瓣壳。左壳后缘超越右壳呈细窄月牙形。沿背缘、后缘及腹缘超覆。壳体两端呈窄圆形弯曲。后缘倾斜大于前端。最大高度与最大厚度均位于壳体中部。壳面光滑。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

光滑玻璃介 *Candona glaber*(Su)

(图版Ⅲ，图 6)

万方数据

描述：壳体大，侧视为肾形，背视呈纺锤形，凹度小，中部膨大。两端上部倾斜，下部呈尖圆形。前端略低于后端，左瓣壳大于右瓣壳。背缘与后缘叠覆明显。背缘外凸，腹缘内凹。壳体最大高度与最大厚度均位于中部。壳面光滑。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

拱形玻璃介 *Candona fornicata* Ye

(图版Ⅲ，图 7)

描述：壳体大，侧视为肾形，背视呈纺锤形，凹度小，中部膨大。背缘外凸，腹缘内凹。两端上部倾斜，下部呈尖圆形。前端略低于后端，左瓣壳大于右瓣壳。后缘与腹缘叠覆。壳体最大高度与最大厚度均位于中部。壳面光滑。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

豆状玻璃介 *Candona fabiforma* Huang

(图版Ⅳ，图 1)

描述：壳体大，侧视呈豆形，背视呈纺锤形，凹度小。背缘外凸，腹缘内凹。前端上部倾斜，下部呈尖圆弧形弯曲，后端均弯曲成圆弧形。前端略低于后端，左瓣壳大于右瓣壳。左瓣壳大于右瓣壳。左壳后缘超越右壳呈细窄月牙形。前、后、背缘叠腹明显。壳体最大高度与最大厚度均位于中偏后处。壳面光滑。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

玻璃介未定种 *Candona* sp 1

(图版Ⅳ，图 2)

描述：壳体中等。侧视为肾形，背视呈扁梭形，凹度小。两端上部倾斜，下部呈窄圆形，前端略低于后端。左瓣壳大于右瓣壳。背缘与腹缘叠覆明显。背缘外凸，腹缘微内凹。壳体最大高度位于中部，最大厚度位于中后部。壳面表面具有弱网格纹饰。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

蒙古星介属 *Mongolocypris* Szczechura,1978

长形蒙古星介 *Mongolocypris porrecta* Su

(图版Ⅱ，图 5)

描述：壳体中偏小，侧视呈近椭圆形，背视呈纺锤形，凹度小。背缘中部近于平直，两端上部微倾斜，下部为圆形弯曲，前端的弯曲度微大于后端，腹缘平直。前端腹缘具有短小而不明显的喙。左瓣壳比右瓣壳大，沿腹缘左瓣壳叠覆于右瓣壳，为左超覆。最大高度位于壳体中部，最大厚度位于中部偏后的位置。壳体表面光滑。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

分布蒙古星介 *Mongolocypris distributa* Stankeritch

万方数据

(图版Ⅱ，图 6)

描述：壳体中偏小，侧视为肾形，背视呈纺锤形，凹度小。右壳侧视中前端具有明显的向外微凸的宽而短尖的喙。背缘中部近于平直，两端上部倾斜，下部为圆形弯曲，前端的弯曲度微大于后端，腹缘平直，与背缘近于平行。左瓣壳大于右瓣壳，沿腹缘与壳两端左瓣壳叠覆于右瓣壳，为左超覆。最大厚度位于壳体中间或中间偏前的位置，最大高度位于壳体中后部近于但分之二处。壳面光滑。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

略长蒙古星介 *Mongolocypris longiuscula* Zhang

(图版Ⅱ，图 7)

描述：壳体中偏大，侧视为长椭圆形，背视呈纺锤形，凹度中等。左瓣壳大于右瓣壳，沿腹缘与背缘超覆。背缘平直或微向外弯曲，腹缘平直，相互平行。前腹具不明显的喙，凹痕不清晰。两端上部微倾斜，下部弧形弯曲。壳体中间最高，壳体后三分之一处最厚。壳面光滑。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

萨尔图蒙古星介 *Mongolocypris saertuensis* Huang

(图版Ⅲ，图 1)

描述：壳体大而厚，侧视为近椭圆形，背视呈纺锤形，凹度小。左瓣壳大于右瓣壳，腹缘与背缘左壳叠覆右壳，后缘上部与前缘下部超覆明显。两端登高，两端呈圆形。背缘近于平直，腹缘微向内凹。前腹具有明显的小喙。最大厚度为壳体中部。壳面光滑。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

板状蒙古星介 *Mongolocypris Tableulata*(Ding)

(图版Ⅲ，图 2)

描述：壳体中等，侧视为长椭圆形，背视厚度变化不大较为均匀，两端尖，凹度小。左壳大于右壳，前、后缘及腹缘包缘，背缘与腹缘近于平直，相互平行，前腹具不明显的壳喙。前端上部倾斜，下部弯曲成圆弧形，后端均弯曲成圆弧形。壳面光滑。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

蒙古星介未定种 *Mongolocypris* sp1

(图版Ⅲ，图 3)

描述：壳体小，侧视呈长椭圆形，背视呈梭形，有较薄厚度，凹度中等。背缘微向外凸，腹缘近于平直，前端低，上部向下斜，下部呈尖圆形，后缘上部倾斜，下部弯曲成窄圆形。前腹无明显的壳喙。左瓣壳大于右瓣壳。无超覆。壳体最大高度为中部，最大厚度为壳体后三分之一处。壳面光滑。

万方数据

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

准噶尔介科 Djungarididae Gou et Hou,2002

蒙古介属 *Mongolianella* Mandelstam,1955

裂开蒙古介 *Mongolianella sectila* Huang et Ye

(图版Ⅰ，图 1)

描述：壳体小，侧视为呈不规则近肾形。背视呈纺锤形，凹度小。两端上部微倾斜，下部弧形弯曲，后部上端倾斜较陡，下部呈尖圆形。背缘向外凸，凸度中等。腹缘内凹。左、右两壳呈错开状，左瓣壳大于右瓣壳。左壳在前端伸出呈宽的自由边状，与之相对应的右壳在后端伸出呈自由边状。壳体在中后部最厚，壳体最高处在中部偏前。壳面光滑。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

优越蒙古介 *Mongolianella palmosa* Mandelstam

(图版Ⅰ，图 2)

描述：壳体中等，侧视为肾形。背视呈纺锤形，凹度小。背缘向外凸，腹缘近于平直，两端对称，上部倾斜，下部弯曲成窄圆形。左瓣壳大于右瓣壳，为左超覆。壳体最大高度为中部，最大厚度为后部。壳面光滑。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

蒙古介未定种 *Mongolianella* sp1

(图版Ⅰ，图 3)

描述：壳体中等，侧视为近椭圆形，背视呈纺锤形，凹度小。背缘微向外凸，腹缘近于平直，前缘成楔形，后缘弯曲成圆弧形。前腹具有明显长而细的喙。化石风化严重，腹缘包覆情况不明，壳体最大高度与厚度为中后部。壳面光滑。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

内蒙古介属 Neimongolia Ye(gen.nov.)

椭圆形内蒙古介 *Neimonggolia ovala* Ye

(图版Ⅳ，图 6)

描述：壳体小，侧视为近椭圆形，前端微高于后端，最大高度位于壳体的中部，背缘向外凸。背视呈纺锤形，凹度中等。前端为陡圆形弯曲，后端为宽圆形弯曲。腹缘平直。右瓣壳比左瓣壳圆滑，两壳近于等大，无超覆。大厚度为于中微偏后近于五分之三处，壳面光滑。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

拱形内蒙古介 *Neimongolia subwuerxunensis* Ye

(图版Ⅳ，图 7)

万方数据

描述：壳体小，侧视为近椭圆形，两端对称，背视呈纺锤形，凹度小。前部收缩。左瓣壳小于右瓣壳，化石风化严重，腹缘包覆情况不明，前端低于后端。壳体背缘向外凸，呈弧形外拱。最高处为壳体中部。两端上部微倾斜，下部弧形弯曲，腹缘平直。壳体中后部最厚。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

球星介属 *Cyclocypris* Brady et Norman,1889

胖大球星介 *Cyclocypris valida* Yuan

(图版Ⅰ，图 4)

描述：壳体小，壳壁厚，侧视呈近圆三角形，背视膨胀，近卵形。左壳大，沿前、腹缘及后端叠覆于右壳。背缘外凸强烈，从中部向两端倾斜。腹缘近直。两端近等高，上部倾斜，下部均匀地呈圆形弯曲。右壳在前缘下部超出左壳形成半月形自由边。壳体的最大高度与最大厚度均为中部。壳面光滑。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

球星介未定种 *Cyclocypris* sp1

(图版Ⅰ，图 5)

描述：壳体小，壳壁厚，侧视呈不规则近圆三角形，背视膨胀，近卵形。左壳大，沿前、后缘及腹缘包缘。背缘外凸强烈，两端不对称，前端上部倾斜，下部呈尖圆形，后端上部微倾斜，下部弯曲成圆弧形。右壳在前缘下部超出左壳形成半月形自由边。壳体的最大高度为中部，最大厚度为中后部。壳面光滑。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

金星介科 Cyprididae Baird,1845

狼星介属 *Lycopterocypris* Mandelstam,1956

亚卵形狼星介 *Lycopterocypris subovatus* Ye

(图版Ⅳ，图 4)

描述：壳体小，侧视呈亚卵形，背视呈纺锤形，凹度小。两端上部倾斜，下部呈窄圆形，前端略低于后端。左瓣壳大于右瓣壳。腹缘包覆。背缘外凸，腹缘微内凹。壳体最大高度位于中部，最大厚度位于壳体后三分之一处。壳面光滑。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

奇特狼星介 *Lycopterocypris imparilis* Ye

(图版Ⅳ，图 5)

描述：壳体小，，侧视呈近肾形，背视呈纺锤形，凹度小。左瓣壳大于右瓣壳。腹部叠覆。背缘外凸，腹缘微内凹。前端低，收缩呈窄圆形，向下倾斜并拉

万方数据

长，后端上部倾斜，下部呈缓圆形。最大高度位于壳体后三分之一处，最大厚度位于壳体后四分之一处。壳面光滑。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

达尔文介科 Darwinuidae Brady et Norman,1889

三角星介属 *Triangulicypris* Ye,1976

单形三角星介 *Triangulicypris uniformis* Ye

(图版Ⅳ，图 3)

描述：壳体小，侧视呈肾形，背视呈椭圆形，凹度中等。背缘中部呈角状弯曲，腹缘直或微内凹。左瓣壳大于右瓣壳。腹缘包覆明显。两端上部倾斜，下部呈窄圆形，前端略低于后端。壳体最大高度位于中部，最大厚度位于壳体后三分之一处。壳面光滑。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

4.1.2 介形类化石的组合建立

根据优势种、丰度值建立如下化石组合。

Mongolocypris- Cypridea- Cyclocypris 组合

在红土崖组中发现的介形类化石组合中的属种相对比金刚口组较为丰富，*Mongolianella* 属有 *Mongolianella sectila* Huang et Ye、*Mongolianella palmosa* Mandelstam、*Mongolianella* sp1，其中 *Mongolianella palmosa* Mandelstam 数量最多；*Cyclocypris* 属有 *Cyclocypris valida* Yuan、*Cyclocypris* sp1、其中 *Cyclocypris valida* Yuan 数量最多；*Cypridea* 属有 *Cypridea cavernosa* Galeeva、*Cypridea cuboida* Ye、*Cypridea nota* Ye、*Cypridea applanata* Ye、*Cypridea eximia* Ye、*Cypridea* sp 1，其中 *Cypridea cavernosa* Galeeva、*Cypridea cuboida* Ye 数量最多；*Mongolocypris* 属有 *Mongolocypris porrecta* Su 、*Mongolocypris distributa* Stankeritch、*Mongolocypris longiuscula* Zhang、*Mongolocypris saertuensis* Huang、*Mongolocypris Tableulata*(Ding)、*Mongolocypris* sp1，其中 *Mongolocypris distributa* Stankeritch 数量最多；*Candona* 属有 *Cminora* Ye et Chen、*Candona trigona* Ye、*Candona glaber*(Su)、*Candona fornicata* Ye、*Candona fabiforma* Huang、*Candona* sp1，这些属种数量都不多； *Lycopterocypris* 属有 *Lycopterocypris subovatus* Ye、*Lycopterocypris imparilis* Ye，数量不多；*Neimonggolia* 属有 *Neimonggolia ovala* Ye、*Neimongolia subwuerxunensis* Ye 数量也不多；*Triangulicypris* 属仅有一种 *Triangulicypris uniformis* Ye，数量不多。

4.2 研究区发现的腹足类(Gastropods found in the study area)

在山东莱阳盆地上白垩统王氏群红土崖组与金刚口组发现有 *Hydrobia*、*Valvata*、*Parateinostoma*、*Gypsobia*、*Proauricula*、*Gyraulus*、*Parhydrobia*。化石

万方数据

采样点和具体属种详见图 4.1。其中 *Hydrobia* 主要分子为 *Hydrobia langxiensis* Pan、*Hydeobia anhuiensis* Pan、*Hydrobia datangensis* Yu、*Hydeobia* sp1、*Hydrobia* sp.2、*Hydrobia* sp.3；*Valvata* 主要分子为 *Valvata(Valvata) sinensis* Yu et Lee、*Valvata*(*Cincinna*) sp1。 *Hydrobia*、*Valvata* 属在山东莱阳盆地红土崖组与金刚口组发现外，在我国江西、江苏、广东、黑龙江等地广泛分布，例如：安徽郎溪宣南组中段常见 *Hydrobia langxiensis* Pan、*Hydeobia anhuiensis* Pan；江苏东台泰州组一、二段见 *Hydeobia anhuiensis* Pan；广东南雄上湖组坪岭段下部见 *Hydrobia datangensis* Yu；黑龙江望奎四方台组、江苏台东泰州组、安徽宣城宣南组中段和广东三水大塱三水组均见 *Valvata(Valvata) sinensis* Yu et Lee； *Hydrobia* 与 *Valvata* 属都是晚白垩世的重要分子，并具有重要的时代意义。

同时在山东莱阳盆地上白垩统首次发现有 *Parateinostoma* 属、*Gypsobia* 属及 *Parhydrobia* 属，分别发现属种为：*Parateinostoma turriculatum* Yu et Zhang、*Gypsobia sinensis* Gu 与 *Parhydrobia minina* Pan。除在山东莱阳盆地红土崖组与金刚口组发现外，*Parateinostoma turriculatum* Yu et Zhang 还在广州石围塘大塱山组、南海沙坑大塱山组等地都有发现；*Gypsobia sinensis* Gu 在江苏台东泰州组二段也有发现；*Parhydrobia minina* Pan 在安徽宣城晏公桥宣南组中段也有产出。这三个属与 *Hydrobia* 与 *Valvata* 属相同都是晚白垩世的重要分子，具有重要的时代意义。

Proauricula 与 *Gyraulus* 属与上述 4 种不同，前人发现的时代并不是晚白垩世。*Proauricula* 属前人发现在早白垩世中-晚期，*Gyraulus* 属前人发现于早白垩世中期。此次在晚白垩世发现，说明其从早白垩世中期至晚白垩一直繁衍生息，没有绝灭。*Proauricula* 属仅发现一属种 *Proauricula* sp1；*Gyraulus* 的主要分子为 *Gyraulus neipiaoensis* sp.nov、*Gyraulus* sp.1、*Gyraulus* sp.2、*Gyraulus* sp.3。除在山东莱阳盆地红土崖组与金刚口组发现外，在安徽霍山黑石渡组发现 *Proauricula* sp1；辽宁北票义县组下部见 *Gyraulus* sp.3；辽宁北票九佛堂组见 *Gyraulus neipiaoensis* sp.nov。

研究区动物群不同于侏罗纪的腹足类动物群，它是属于热河生物群的一部分，特征为全部化石均为壳体微小类型，一般壳体在 3 毫米以下[52-56]。

4.2.1 属种描述

欧螺超科 Rissoacea Gray,1850

觿螺科 Hydrobiidea Troschel,1856

觿螺属 *Hydrobia* Hartmann,1821

郎溪觿螺 *Hydrobia langxiensis* Pan

(图版Ⅴ，图 1)

万方数据

描述：壳体小，宽锥形，具有 5 个螺环。壳顶为乳头状，螺塔上细，下宽，螺塔部螺环增长规则，螺环面微圆凸。螺环旋绕达螺环下部，周缘位于螺环中部且微圆凸。缝合线深，呈沟形。末螺环高大且宽，轴唇微弯曲。壳面光滑，未见壳饰。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组，上白垩统金刚口组。

安徽觿螺 *Hydeobia anhuiensis* Pan

(图版Ⅴ，图 1)

描述：壳体微小，宽卵锥形，具有 4 个螺环。壳顶破损，螺塔中等高，增长规则，末螺环高大，约占壳高的五分之二。螺环面圆凸，周缘宽圆。螺环旋绕达周缘之下。底部微凸，具脐缝。缝合线深而明显。壳口光滑，未见生长纹。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组，上白垩统金刚口组。

大塘觿螺 *Hydrobia datangensis* Yu

(图版Ⅴ，图 3)

描述：壳体微小，柱锥形，壳顶钝，具有 4 个螺环。螺环面圆凸，周缘宽圆。缝合线深，末螺环高大，约占壳高的五分之二。脐缝不明显。壳口斜，卵形或似卵形壳面光滑无纹饰

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统金刚口组。

觿螺未定种 1*Hydeobia* sp1

(图版Ⅴ，图 4)

描述：壳体微小，细长，高锥形，具有 5 个螺环，壳顶破损，螺塔中等高度，增长规则，末螺旋较小，未增大，与其他螺旋相似。螺环面平凸，周缘宽圆。螺旋旋绕达之下。底部微凸，无脐缝。缝合线中等深度。壳口呈倒圆三角形，上端角状，下端圆，外唇弯曲，壁唇倾斜，唇轴略破损。壳面未见纹饰。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

觿螺未定种 2*Hydrobia* sp.2

(图版Ⅴ，图 5)

描述：壳体微小，宽锥形，上部螺环完整，保存 5 个螺环。螺塔中等高，螺环增长规则，末螺环最高大，约占壳高的五分之二。螺环面微凸，缝合线深。壳口保存不全，可能为卵形。似卵形，上端角状，下端圆，外唇弯曲，破损，壁唇倾斜，唇轴略破损，壳面未见纹饰。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

觿螺未定种 3*Hydrobia* sp.3

(图版Ⅴ，图 7)

万方数据

描述：壳体微小，细长，锥形，壳顶破损，仅保存 3 个螺环，螺塔中等高度，增长规则，末螺环高大，约占壳高的五分之三。螺环面圆凸，缝合线深。壳口保存完整，微倒三角形，上端角状，下端角状，外唇平直，唇壁直立，唇轴完整，壳面未见纹饰。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统金刚口组。

扁卷螺科 Planorbiadae Hand et H.Adams,1855

小旋螺属 *Gyraulus* Charpentier,1837

北票小旋螺 *Gyraulus neipiaoensis* sp.nov

(图版Ⅴ，图 8)

描述：壳体微小，似螺旋，双凹形，由 2.5 个逐渐增长的螺环组成。壳上、下两侧面均可见及内部各螺旋，但下侧面内部各螺环暴露更明显。胎壳具半个螺环，其表面饰有明显的细螺旋线，胎壳与成年壳体被一条细生长纹所分割；成年壳体壳面光滑，饰有明显的突起生长肋和细旋线。缝合线深陷。螺环上侧面微凸，近缝合线处圆凸，且逐渐向螺环的下侧；螺环下侧面内凹。脐孔宽且浅。壳口似圆形且破损，外唇的下侧呈圆角状。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

小旋螺未定种 1*Gyraulus* sp.1

(图版Ⅵ，图 3)

描述：壳体微小，盘旋，壳宽仅为 1mm，仅具有 2 个迅速增长的螺环，并为深陷缝合线所分隔。壳上侧面微凸，下侧面宽凹。第一螺旋小，微向上凸，第二个螺环逐渐增大且圆凸，为第一个螺环的两倍，周缘位于螺环的下部呈钝角状。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组，上白垩统金刚口组。

小旋螺未定种 2*Gyraulus* sp.2

(图版Ⅴ，图 9)

描述：壳体微小，盘旋，仅具有 2.5 个迅速增长的螺环，并为深陷缝合线所分隔。壳上侧面凹下，下侧面宽凹。胎壳具半个螺环，胎壳与成年壳体被一条细生长纹所分割，成年壳体壳面光滑，未见生长纹。缝合线深陷。第二个螺旋逐渐增大且圆凸，但增大程度较小。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统金刚口组。

小旋螺未定种 3*Gyraulus* sp.3

(图版Ⅵ，图 4)

描述：壳体微小，似盘旋，双凹形，由 2.5 个逐渐增长的螺环组成。壳上、下两侧面均可见及内部各螺旋，但下侧面内部各螺环暴露更明显。缝合线深。螺环上侧面微凸，近缝合线处圆凸，螺环下侧面较平，其边缘具有一条圆角状螺旋

万方数据

棱。脐孔宽且浅。壳口似圆形且破损，外唇的下侧呈圆角状。壳面光滑，壳饰不清。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组，上白垩统金刚口组。

盘螺超科 Valvatacea Gray et Thompson,1840

盘螺科 Valvatidea Gray,1840

盘螺属 Valvata müller,1774

盘螺亚属 *Valvata (Valvata)* müller,1774

中华盘螺 *Valvata(Valvata) sinensis* Yu et Lee

(图版Ⅵ，图 6)

描述：壳体小，盘状，塔螺高出末螺环之上。具有 3 个螺环：第一个螺环小，光滑且突出，增长缓慢；第二个螺环增长快，螺环面圆凸。缝合线深陷。末螺环增长较快，螺环面宽圆，其宽度约为前一螺环的 2 倍。壳口圆形，口缘厚，超有扩大。底侧凹圆。脐孔小，约小于壳径的一半。壳面光滑，仅饰粗生长纹，明显出现在底侧。未见壳饰。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组，上白垩统金刚口组。

高盘螺亚属 *Valvata(Cincinna)* Férussae,1821

高盘螺未定种 1*Valvata(Cincinna)* sp1

(图版Ⅵ，图 6)

描述：壳体微小，低宽圆锥形，有 3 个螺环。壳顶钝圆外凸，螺塔部的末螺环高大并且圆凸。缝合线深。螺环面圆凸。底部具有明显脐孔。壳口呈似圆形。壳面破碎，未见生长肋。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统金刚口组。

近水螺属 *Parhydrobia* Cossmann,1913

微小近水螺 *Parhydrobia minina* Pan

(图版Ⅴ，图 6)

描述：壳体微小，细长，塔型或高圆锥形，具有 6 个螺环。壳顶钝圆，螺塔高而狭窄，螺环规则增长，旋绕达螺环下部，螺环面宽圆，圆周位于螺环中部且呈圆角状。缝合线深，呈沟形。末螺环长卵形。底部微凸。无脐孔。壳口似卵形，上端圆角状，下端圆，外唇弯曲，壁唇倾斜，轴唇微倾斜。壳面饰有不明显的细生长线。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组，上白垩统金刚口组。

副伸口螺属 *Parateinostoma* Oppenheim,1892

塔形副伸口螺 *Parateinostoma turriculatum* Yu et Zhang

(图版Ⅵ，图 1)

万方数据

描述：壳体小，塔锥形，螺塔高，壳顶破损，仅保存 7 个螺环，螺环增长缓慢且有规则，环外宽圆，缝合线深。末螺环增长较快，略凸胀，周缘圆，缓慢地斜向底部。底部圆，无脐孔。壳口卵形，全缘式，外唇呈半弧形弯曲，其上部有一凹曲。内唇略斜。壳面光滑，未见饰纹。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组，上白垩统金刚口组。

兀鹰螺属 *Gypsobia* Tausch,1886

中华兀鹰螺 *Gypsobia sinensis* Gu

(图版Ⅵ，图 2)

描述：壳体较小，塔锥形。塔螺很高，壳顶尖，具 8 个以上螺环，环外侧面平滑，缝合线中等深。末螺环增长不明显。壳口保存不完整，破损严重。壳壁较厚。无脐孔。壳面风化严重，未看清有壳饰。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组，上白垩统金刚口组。

肺螺亚纲 Pulmonata Cuvier,1817

古肺螺目 Archaeopulmonata Morton,1955

石峡螺族 Stirps Actophila

耳螺科 Ellobiidae H. et A. Adams,1855

前耳螺属 *Proauricula* Huckriede,1967

前耳螺未定种 1*Proauricula* sp1

(图版Ⅵ，图 7)

描述：壳体较小，细长，长卵锥形，由 4 个螺环组成。壳顶钝圆，螺塔的螺环增长缓慢，螺环面微凸。缝合线线深陷，末螺环高大且微凸，约为壳体的五分之二。底部无脐孔。壳口上端为角状。下端圆，外唇弯曲，破损，壁唇倾斜，唇轴略破损。

产地及地层：山东莱阳盆地；上白垩统金刚口组。

4.2.2 腹足类化石组合建立

根据优势种、丰度值建立如下化石组合。

Hydrobia - Gypsobia - Parateinostoma 组合

在红土崖组中，*Hydrobia* 属有 *Hydrobia langxiensis* Pan、*Hydeobia anhuiensis* pan、*Hydeobia* sp1、*Hydrobia* sp.2，数量都很多；*Gypsobia* 属有 *Gypsobia sinensis* Gu、*Gyraulus neipiaoensis* sp.nov、*Gyraulus* sp.1、*Gyraulus* sp.3，其中 *Gyraulus* sp.1、*Gyraulus* sp.3 数量最多；*Parhydrobia* 属仅有一种为 *Parhydrobia minina* Pan，数量多；*Parateinostoma* 属仅有 *Parateinostoma turriculatum* Yu et Zhang，数量多；*Gypsobia* 属仅有 *Gypsobia sinensis* Gu ，数量不多；*Valvata* 属仅有 *Valvata(Valvata) sinensis* Yu et Lee，数量也不多。

万方数据

在金刚口组中，腹足类化石组合跟红土崖组相同，不同的是多发现了几个属种，分别为 *Hydrobia datangensis* Yu、*Gyraulus* sp.2 、*Proauricula* sp1 、*Valvata(Cincinna)* sp1 、*Hydrobia* sp.3，并且多发现 *Proauricula* 属，仅有一属种 *Proauricula* sp1，数量不多。

万方数据

5 元素地球化学分析

5 Geochemical analysis of elements

利用山东莱阳盆地上白垩统王氏群红土崖组和金刚口组的微量元素地球化学特征对古环境进行了恢复，分析数据如表 5.1 所示。在研究区实测剖面取样的基础上，结合样品微量、稀土等元素地球化学特征进行分析[57]，恢复出研究区上白垩统红土崖组和金刚口组古盐度、古气候、氧化还原性等古环境因素，为恢复该区沉积环境演化提供了可靠证据。

表 5.1 红土崖组和金刚口组微量、稀土元素含量（10^{-6}）

Table 5.1 The content of trace elements and rare earth elements in Hongtuya and Jingangkou formations（10^{-6}）

地层	红土崖组						金刚口组			
样品	J-02	J-04	J-09	J-11	J-14	J-21	J-16	J-20	J-25	J-26
Li	17.71	24.97	24.86	32.00	6.72	22.58	12.85	37.65	28.15	26.27
Be	1.22	1.23	1.78	2.19	0.57	1.68	1.18	2.23	2.01	2.88
Sc	8.99	9.74	17.12	16.04	0.91	15.65	6.81	16.00	19.33	21.87
Ti	2923.97	2969.65	3719.77	3397.04	955.75	3131.7	2169.45	3574.23	3985.62	4013.79
V	76.84	45.86	629.77	63.41	16.00	94.72	62.85	120.81	247.48	88.57
Cr	69.82	75.20	109.01	80.21	19.88	61.83	52.81	91.04	95.73	113.86
Mn	628.33	451.99	379.97	485.33	803.98	657.25	423.58	858.43	112.84	137.85
Co	5.83	5.56	7.99	10.23	4.49	15.4	4.00	12.88	8.80	10.10
Ni	16.77	13.73	23.78	32.24	18.53	22.78	10.17	29.58	19.68	47.90
Cu	16.55	17.35	26.75	19.49	4.33	21.76	13.07	21.73	26.75	32.56
Zn	38.56	27.43	60.13	59.43	13.46	35.38	26.56	78.19	62.80	89.28
Ga	12.03	12.76	16.93	17.71	5.05	16.71	10.96	19.14	19.43	21.77
Ge	0.73	0.60	0.92	1.09	0.28	0.55	0.32	1.00	1.47	1.27
Rb	67.85	81.36	91.44	91.03	29.86	91.22	73.15	76.45	123.56	103.85
Sr	359.86	304.20	201.42	173.85	415.00	135.89	224.26	103.56	130.09	120.16
Y	14.85	14.14	14.78	15.13	10.37	18.38	8.91	14.88	10.46	12.60
Zr	261.83	185.62	361.73	187.34	53.56	170.94	173.21	144.47	183.74	164.27
Nb	7.61	8.53	9.45	10.00	2.87	10.05	6.13	10.5	12.11	13.66
Mo	0.16	0.30	0.14	0.37	0.10	0.26	0.05	0.75	1.13	0.21
Cd	0.14	0.09	0.09	0.08	0.21	0.11	0.05	0.12	0.18	0.09
In	0.03	0.03	0.05	0.05	0.01	0.05	0.03	0.06	0.06	0.07
Sn	1.21	1.40	1.74	1.88	0.60	1.96	1.07	2.38	2.53	3.21
Cs	2.23	3.65	5.37	6.34	1.89	6.77	3.05	6.66	10.69	11.97
Ba	934.60	706.08	654.58	572.44	190.54	717.97	2130.73	428.52	610.24	874.21
La	30.67	31.41	37.02	38.81	22.24	37.40	20.47	26.95	28.81	29.69
Ce	58.00	58.23	74.88	76.57	35.59	85.40	40.08	66.27	58.20	60.77

万方数据

续上表

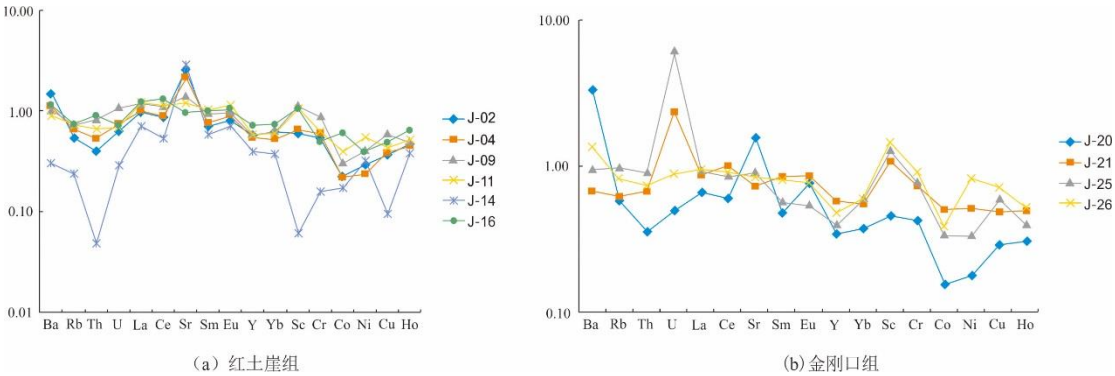
地层	红土崖组					金刚口组				
样品	J-02	J-04	J-09	J-11	J-14	J-21	J-16	J-20	J-25	J-26
Pr	6.52	7.03	8.36	9.10	4.98	8.58	4.36	6.80	5.99	7.16
Nd	23.45	24.95	31.97	33.72	18.65	30.89	16.05	25.88	20.38	25.48
Sm	3.85	4.23	5.32	5.79	3.29	5.50	2.67	4.72	3.20	4.52
Eu	0.96	1.08	1.14	1.37	0.84	1.20	0.90	1.01	0.65	0.91
Tb	0.52	0.55	0.65	0.69	0.47	0.72	0.36	0.61	0.40	0.59
Gd	3.26	3.59	4.38	4.67	3.04	4.64	2.33	4.01	2.49	3.75
Dy	2.87	2.93	3.22	3.46	2.50	3.94	1.90	3.19	2.34	3.28
Ho	0.57	0.54	0.59	0.63	0.46	0.76	0.37	0.59	0.48	0.63
Er	1.79	1.60	1.83	1.88	1.29	2.20	1.10	1.76	1.56	1.88
Tm	0.28	0.24	0.28	0.27	0.18	0.35	0.17	0.26	0.26	0.28
Yb	1.90	1.60	1.95	1.83	1.14	2.22	1.15	1.69	1.82	1.85
Lu	0.29	0.24	0.30	0.27	0.17	0.35	0.17	0.25	0.29	0.28
Hf	7.31	5.39	9.88	5.26	1.61	5.80	5.36	4.39	5.74	5.05
Ta	0.62	0.70	0.77	0.76	0.26	0.91	0.52	0.89	1.11	1.20
W	0.86	1.07	1.18	1.45	0.42	1.56	0.84	1.49	1.81	1.88
Tl	0.28	0.26	0.39	0.52	0.04	0.46	0.22	0.74	0.66	0.88
Pb	13.69	21.17	13.70	23.15	7.95	24.21	15.03	14.89	39.90	22.06
Bi	0.22	0.34	0.21	0.36	0.13	0.38	0.24	0.24	0.61	0.35
Th	4.88	6.43	10.23	8.21	0.59	11.01	4.43	8.30	11.15	9.14
U	1.66	1.96	2.91	1.87	0.77	1.89	1.33	6.20	16.38	2.36

5.1 微量元素特征(Trace element characteristics)

红土崖组（图 5.1，a）：V、Sr、Zr、La、Pr、Tm 的平均值分别为 154.43 、265.04、203.50、32.93、7.43、0.27×10^{-6} 均大于北美页岩的含量，其余均小于北美页岩。J-16、J-14 样品元素变化与其他 4 组的差异性较大，其中样品 J-14 变化波动较大；J-02、J-04、J-09 和 J-11 变化趋势基本相似，仅有个别元素变化存在差异。其中，J-16 样品中 Th、Ce、Co 表现为富集，其余 5 组样品为亏损；Sr、Cr 元素相对亏损，其它 5 组则表现富集。而在 J-14 样品中 La、Sr、Eu、Ni 元素表现为富集；而 Th、Sc、Cu 元素明显亏损。所以，红土崖组微量元素特征为 La、Sr、Eu、Sc、Cr、元素富集较为明显，Th、Ce、Sm、Y、Yb、Co 元素亏损。

金刚口组（图 5.1，b）：Sc、Sr、Cs、Ba、Pr、Tm、Pb、U 的平均值分别为 16、144.52、8.09、1010.92、6.08、0.24、22.97、6.57×10^{-6} 均大于北美页岩的含量，其余均小于北美页岩。除样品 J-21 的微量元素变化趋势跟其他 3 组样品有较大差异外，J-20、J-25、J-26 的元素变化趋势相对一致，仅有个别元素存在差异。金刚口组的微量元素特征为：U、Sr、Eu、Sc 较为富集，其中，J-25 样品中 U 极为富集，Th、Ce、Y、Yb 相对亏损[58]。

万方数据



（a）红土崖组 (b)金刚口组

图 5.1 样品微量元素 NASC 标准化蛛网图

Fig. 5.1 The NASC-normalized trace element pattern of the samples

5.2 稀土元素特征(Characteristics of rare earth elements)

红土崖组稀土元素特征表现为，稀土元素总含量 32.16×10^{-6}-55.78×10^{-6} ，平均 47.53×10^{-6}，远低于北美页岩稀土元素总量 156.84×10^{-6}（NASC 数据自文献 Gromet, et al(1984)）指标分析见表 5.1。ΣLREE/ΣHREE 波动范围在 4.36-5.74 之间，平均 5.08，稀土元素球粒陨石标准化配分图的斜率：$(La/Yb)_N$ 为 10.91-14.33，平均 12.65；$(Ce/Yb)_N$ 为 7.91-9.97，平均 9.37，均反应轻稀土元素与重稀土元素分异较大，反应轻稀土元素之间分馏程度的指标 $(La/Sm)_N$ 变化范围 5.86-6.97，平均 6.21，都大于 NASC；重稀土元素之间的指标 $(Gd/Yb)_N$ 变化范围 1.39-2.16，平均 1.83，均高于 NASC，前者表明轻稀土元素之间分异中等，后者表明重稀土元素之间分异不明显，球粒陨石标准化配分图（图 5.2，a）中能更明显看出，轻稀土元素右倾、富集，重稀土元素较为平稳，表明轻重稀土元素分异程度大，不是有较低分异度的海相沉积环境，而是陆相沉积环境，其中 Sm 明显亏损。因在后期成岩作用中 Ce 异常会发生改变，首先需确定稀土元素不受后期成岩作用影响，条件为 $(La/Sm)_N>0.35$，且 $(La/Sm)_N$ 与δ Ce、δ Eu 与δ Ce、δ Ce 与 w(REE)均相互不具有相关性(图 5.3)，研究区样品完全符合。Eu 和 Ce 为明显的负异常，δ Ce 为 0.77-1.08，平均 0.93，基本正常，δ Eu 为 0.85-1.00，平均 0.93，接近于 NASC 标准值 0.65。由红土崖组稀土元素 NASC 标准化配分图(图 5.2，c)可得，6 组样品均为右倾，说明轻稀土元素富集，重稀土元素中，Tm 最为富集，红土崖组样品波动形式极为相近，但存在细微的数值差异，表明其沉积环境基本相似[60]。

金刚口组稀土元素特征表现为，稀土元素总含量 $29.38\text{-}42.29\times10^{-6}$，均值 38.19×10^{-6}，NASC 稀土元素总量高于金刚口组。ΣLREE/ΣHREE 为 4.83-5.83，平均 5.23，$(La/Yb)_N$ 为 10.70-12.03，平均 11.09，$(Ce/Yb)_N$ 为 8.29-9.03，平均 9.00，均表明 LREE 与 HREE 有较大分异度。

万方数据

表 5.2 古环境特征指标分析

Table 5.2 The palaeoenviroment characteristics index analysis

地层	红土崖组							金刚口组				
样品	J-02	J-04	J-09	J-11	J-14	J-16	平均	J-20	J-21	J-25	J-26	平均
ΣREE	45.52	45.55	51.8	53.94	32.61	55.78	47.53	29.38	41.83	39.27	42.29	38.19
ΣLREE/ΣHREE	4.69	4.99	5.67	5.74	4.36	5.03	5.08	5.14	4.83	5.83	5.11	5.23
ΣREE+ Y	60.37	59.69	66.58	69.07	42.98	74.16	62.14	38.29	56.71	49.73	54.89	49.91
Y/ Ho	26.05	26.19	25.05	24.02	22.54	24.18	24.67	24.08	25.22	21.79	20.00	22.77
La/ Yb	10.91	13.27	12.83	14.33	13.18	11.38	12.65	12.03	10.78	10.70	10.84	11.09
La/ Lu	10.98	13.59	12.81	14.92	13.58	11.09	12.83	12.50	11.19	10.31	11.01	11.25
Ce/ Yb	7.91	9.43	9.95	10.84	8.09	9.97	9.37	9.03	10.16	8.29	8.51	9.00
La/ Sm	6.97	6.49	6.09	5.86	5.91	5.95	6.21	6.71	4.99	7.87	5.75	6.33
Gd/ Yb	1.39	1.82	1.82	2.07	2.16	1.69	1.83	1.64	1.92	1.11	1.64	1.58
δ Eu	0.97	1.00	0.85	0.95	0.96	0.85	0.93	1.30	0.83	0.83	0.79	0.94
δ Ce	0.92	0.89	0.97	0.93	0.77	1.08	0.93	0.96	1.13	1.00	0.95	1.01
B/ Ga	1.97	2.58	2.34	2.36	2.09	2.23	2.26	1.96	2.10	2.28	1.72	2.01
Sr/ Ba	0.39	0.43	0.31	0.30	2.18	0.19	0.63	0.11	0.24	0.21	0.14	0.18
Rb/ Sr	0.19	0.27	0.45	0.52	0.07	0.67	0.36	0.33	0.74	0.95	0.86	0.72
Cu/ Zn	0.43	0.63	0.44	0.33	0.32	0.62	0.46	0.49	0.28	0.43	0.36	0.39
Sr/ Cu	21.74	17.53	7.53	8.92	95.84	6.24	26.30	17.16	4.77	4.86	3.69	7.62
V/ Cr	1.10	0.61	5.78	0.79	0.80	1.53	1.77	1.19	1.33	2.59	0.78	1.47
Ni/ Co	2.88	2.47	2.98	3.15	4.13	1.48	2.85	2.54	2.30	2.24	4.74	2.95
U/ Th	0.34	0.30	0.28	0.23	1.31	0.17	0.44	0.30	0.75	1.47	0.26	0.69
V/(V+ Ni)	0.82	0.77	0.96	0.66	0.46	0.81	0.75	0.86	0.80	0.93	0.65	0.81
V+Ni+Cu	110.2	76.9	680.3	115.1	38.9	139.3	96.1	86.1	172.1	293.9	169.0	180.3
V/Ni	4.58	3.34	26.48	1.97	0.86	4.16	6.18	4.08	12.58	1.85	6.90	6.17
Th/U	2.94	3.28	3.52	4.39	0.77	5.83	3.33	1.34	0.68	3.87	3.45	2.31
B(10^{-6})	23.68	32.96	39.65	41.84	10.56	37.2	30.99	21.46	40.15	44.32	37.35	35.82

注：δ Eu=2 Eu_N/(Sm_N+ Gd_N)；δ Ce=3 Ce_N/(2 La_N+ Nd_N)； LREE：轻稀土元素；HREE：重稀土元素：（La/ Yb）$_N$，（La/ Sm）$_N$，（Gd/ Yb）$_N$：标准化后元素含量比值；球粒陨石标准化数据（Boynton,1984）。

（La/ Sm）$_N$ 波动范围在 4.99-7.87，平均 6.33，高于北美页岩的 3.5；（Gd/ Yb）$_N$ 变化范围 1.11-1.92，平均 1.58，大于北美页岩 0.8，前者表明轻稀土元素之间分异中等，后者表明重稀土元素之间分异不明显，与红土崖组相同，在金刚口组球粒陨石标准化配分图中(图 5.2，b)，Sm 为明显亏损，Eu 在样品 J-20 中富集，其他三组相对亏损，LREE 右倾、富集，HREE 相对平稳，表明轻重稀土元素分异程度大，为陆相沉积环境。δ Ce 为 0.95-1.13，平均 1.01，Ce 为正异常，δ Eu 为 0.79-1.30，平均 0.94，与红土崖组几乎一致。在金刚口组稀土元素 NASC 标准化配分图(图 4，d)中显示，4 组样品均为右倾，说明 LREE 富集，其中样品 J-20

万方数据

的 Eu 富集，与其他三组不同，在重稀土元素中，Tm 富集，4 组样品波动形式基本相同，仅在数值上存在细微差异，表明其沉积环境基本相同[59]。

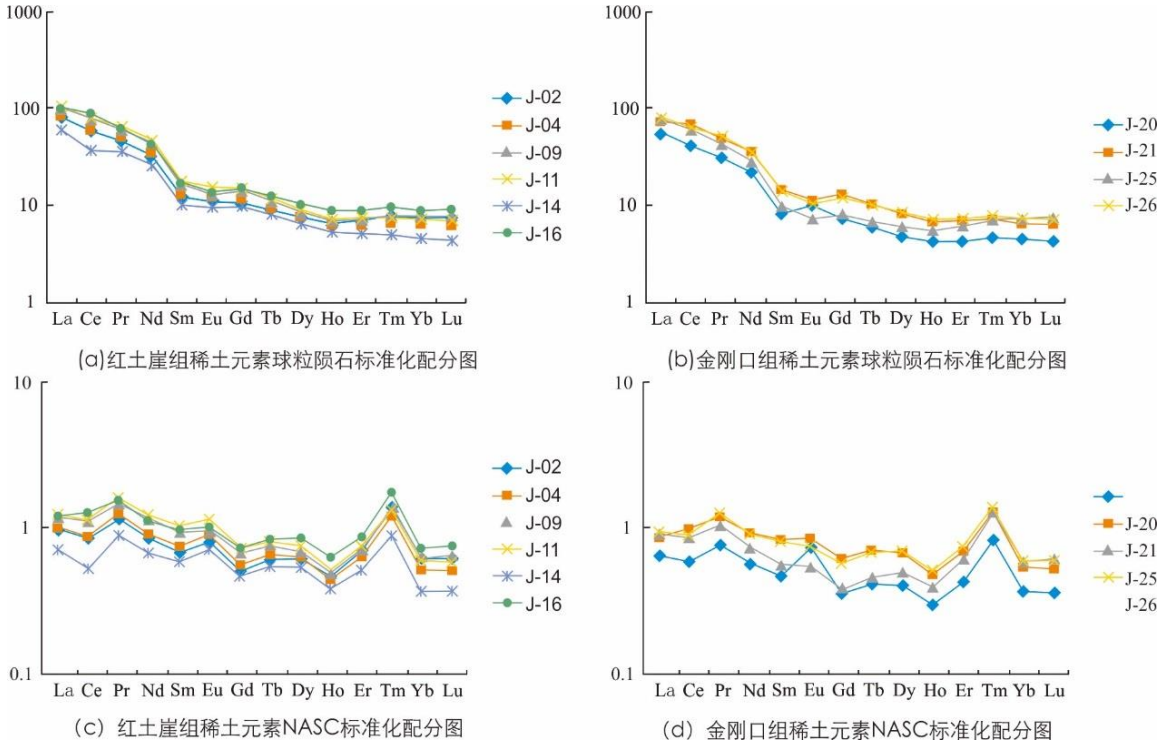


图 5.2 样品稀土元素配分图

Fig. 5.2 The REE pattern of the samples

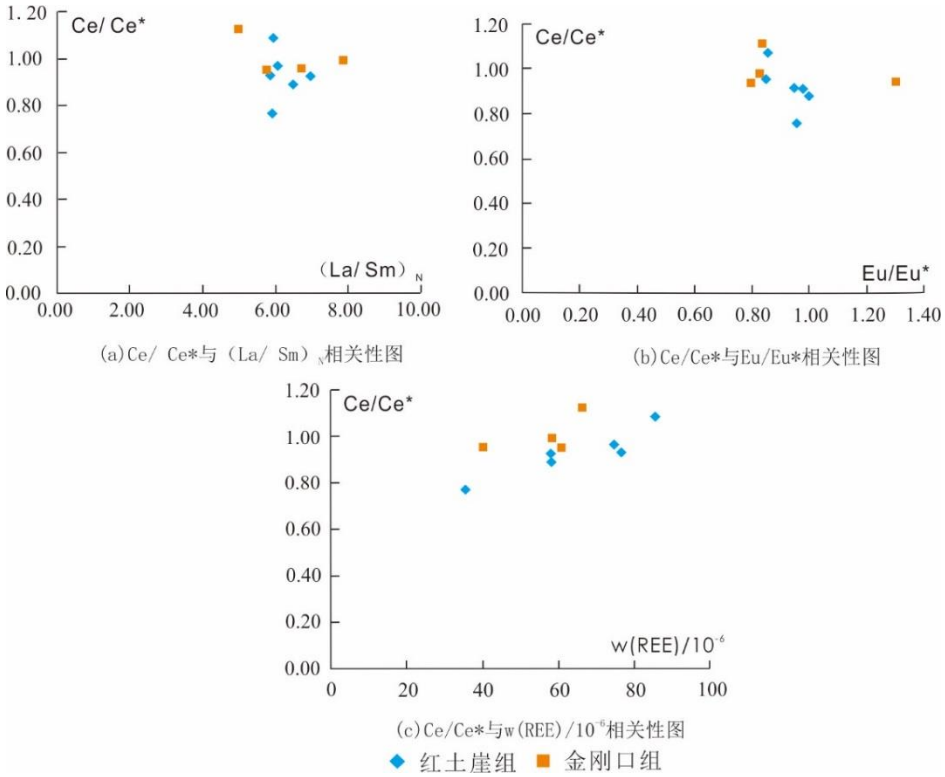


图 5.3 元素相关性图

Fig. 5.3 The correlations of elements

万方数据

5.3 古环境分析(Paleoenvironmental analysis)

在进行古环境分析时，前人常用到各微量、稀土元素含量、比值与分布特征，获得研究区红土崖组和金刚口组的古盐度特征、古温度、古气候及古氧化还原特征等多种沉积环境指标[59、61-71]。

5.3.1 古盐度

利用在自然水体中 Sr/Ba 和盐度是正相关关系，可较灵敏的反应出古盐度，进而间接的判断是陆相淡水环境、微咸水环境或咸水环境。经前人研究得出 Sr/Ba 比值大于 1，表示咸水环境，在 0.6-1 之间为微咸水环境，小于 0.6，表示淡水环境，小于 0.2 为陆相沉积。研究区红土崖组样品 Sr/Ba 值 0.19-2.18，平均 0.63，其中样 J-14 值 2.18，远大于其他样品，其他 5 组样品均为陆相淡水沉积，金刚口组样品为 0.11-0.24，平均 0.18，均为陆相淡水沉积，所以研究区红土崖组和金刚口组均为陆相淡水沉积[72]（图 5.4）。

V+Ni+Cu、B/Ga、B 的值也经常被前人用来判断沉积环境的古盐度特征[73、4]。通常 B 小于 60ppm 表明为陆相沉积，研究区红土崖组 B 波动幅度为 10.56ppm-41.84ppm，均值 30.99ppm，金刚口组为 21.46ppm-44.32ppm，均值 35.82ppm，小于 60ppm，均明显为陆相沉积。B/Ga 小于 3 为淡水陆相沉积，研究区红土崖组 B/Ga 的值介于 1.97-2.58，平均 2.26，均小于 3 为淡水陆相沉积；金刚口组变化范围在 1.72-2.28，平均 2.01，同样均小于 3 为淡水陆相沉积；V+Ni+Cu 的含量小于 150 为河流相，滨湖相介于 150-170，半深湖相为 170-190，深湖相大于 190，研究区红土崖组 V+Ni+Cu 含量仅样 J-09 异常高达为 680.3，是由 V 含量异常高造成的，其它 5 组样品在 38.9-139.3 之间，平均 96.1，均为河流相，金刚口组为 86.1-293.9，平均 180.3，除样 J-20 为河流相外，其他三组样品均为湖湘，样 J-21 为半深湖相，样 J-25 为深湖相，样 J-26 为滨湖相，所以，研究区 V+Ni+Cu 含量与松辽盆地白垩纪相似，都是由河流-湖泊相沉积。

综上所述，研究区红土崖组和金刚口组均为淡水相陆相沉积，具体红土崖组均为河流相，金刚口组是由河流-湖泊相沉积。

5.3.2 古气候

进行古气候特征研究前人通常用到 Sr/Cu 值，当其比值介于 1-10，表示气候潮湿，大于 10，表示干旱气候。研究区红土崖组为 6.24-95.84，J-02、J-04、J-14 值大于 10，表示干旱环境，其他三个样品则小于 10，为潮湿环境，故红土崖组的古气候需进一步讨论。金刚口组为 3.69-17.16，均值 7.62，除样 J-20 大于 5，为干旱环境，其他样品在 1.3-5 之间，为潮湿环境。

万方数据

综上所述，研究区金刚口组为潮湿环境，但红土崖组的古气候需进一步讨论。

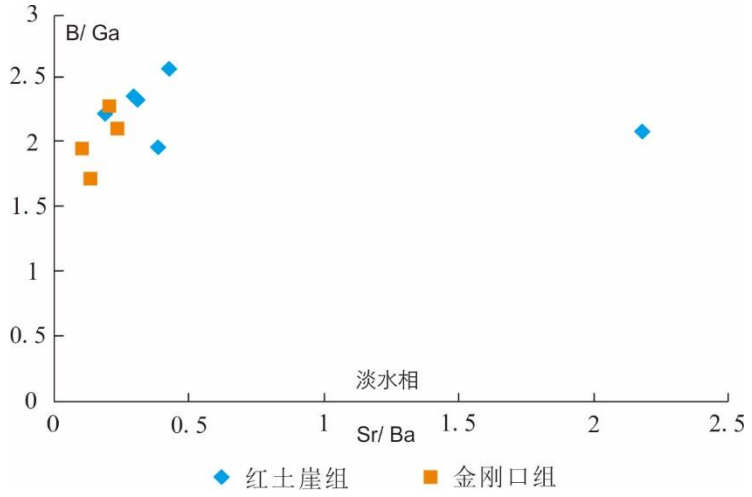


图 5.4 B/Ga 与 Sr/Ba 古盐度分析判别图

Fig. 5.4 The paleosalinity discriminant diagrams between B/Ga and Sr/Ba

5.3.3 古氧化还原性

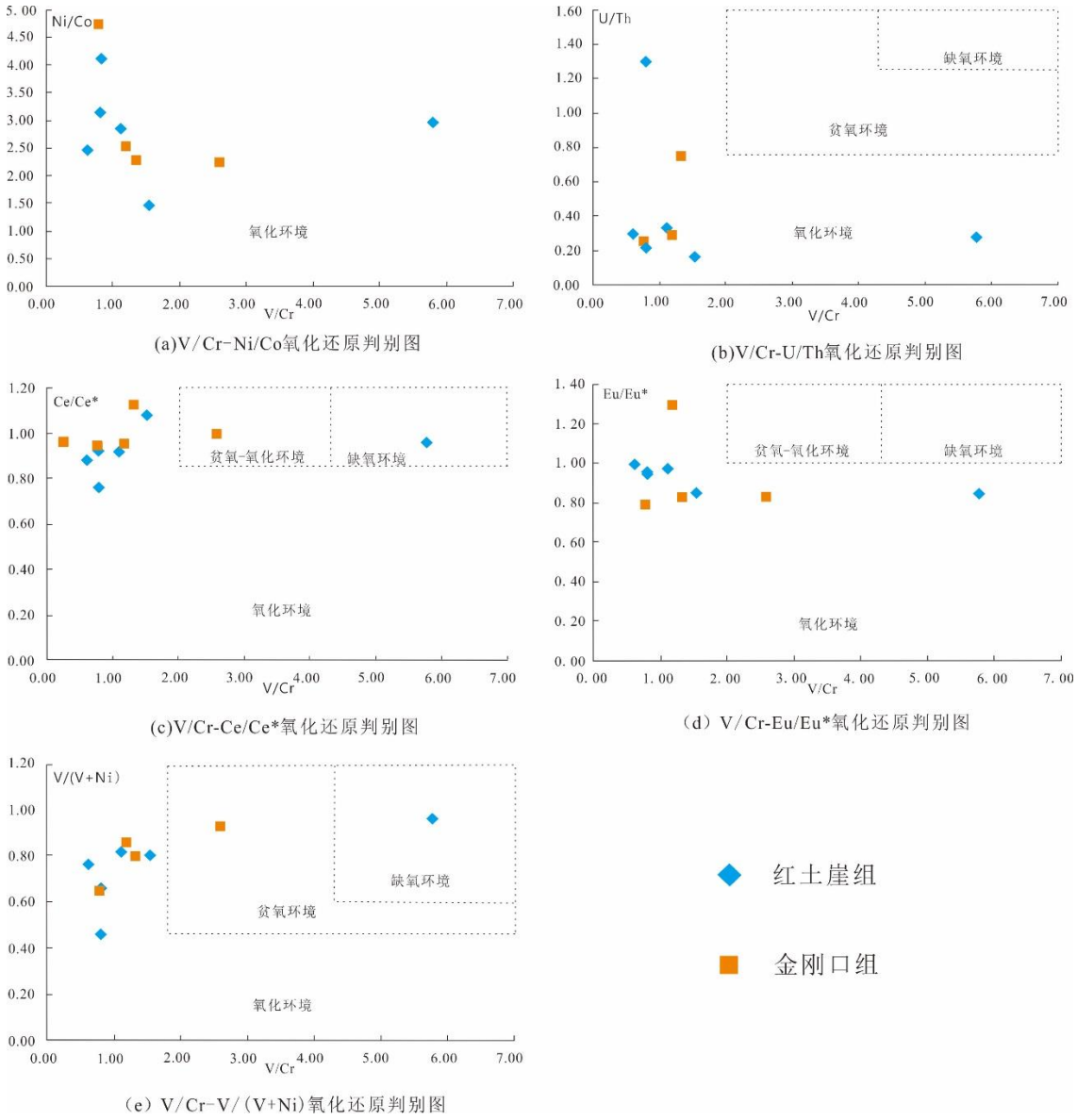
微量元素中，V、U、Cr、Co 等氧化还原敏感元素作为古环境氧化还原的指标被广泛应用。前人常用 V/Cr、V/(V+Ni) 、Ni/Co 比值判断氧化还原环境，V/Cr 值小于 2 为氧化环境，贫氧环境的值介于 2-4.25 之间，大于 4.25 为缺氧环境，研究区红土崖组样品介于 0.61-5.78，平均 1.77，除样 J-09 为缺氧环境，其他 5 组样品皆为氧化环境，金刚口组为 0.78-2.59，平均 1.47，除样 J-25 为贫氧环境，其他三组均为氧化环境。V/(V+Ni)大于 0.84 为还原环境，介于 0.54-0.84 之间为缺氧环境，0.46-0.60 为贫氧环境，小于 0.46 为氧化环境，研究区红土崖组为 0.46-0.96，平均 0.75，均大于 0.46，非氧化环境，金刚口组为 0.65-0.93，平均 0.81，同样非氧化环境。Ni/Co 小于 5 为氧化环境，介于 5-7 之间为贫氧环境，大于 7 为缺氧环境。研究区红土崖组样品介于 1.48-4.13，平均 2.85，均为氧化环境，金刚口组为 2.24-4.74，平均 2.95，均为氧化环境。

稀土元素中，前人常用 Eu、Ce 异常(即 Ce/Ce^*、Eu/Eu^*)判别沉积环境的氧化还原情况。当 Eu/Eu^*值大于 1 时，Eu 为正异常，为还原环境；当 Eu/Eu^*值小于 1 时，Eu 负异常，为氧化环境，研究区红土崖组样品为 0.85-1.00，平均 0.93，均小于 1，Eu 负异常，为氧化环境；金刚口组样品介于 0.79-1.30，平均 0.94，除样 J-20 的 Eu/Eu^*值大与 1，其他 3 组样品均小于 1，Eu 负异常，为氧化环境。同理当 Ce/Ce^*大于 1 时，Ce 为正异常，为缺氧环境；当 Ce/Ce^*小于 1 时，Ce 为负异常，表明为氧化环境，研究区红土崖组样品介于 0.77-1.08 之间，平均 0.93，除样 J-16 的 Ce/Ce^*值大于 1 外，其他 5 组样品均小于 1，表明 Ce 负异常，为氧

万方数据

化环境；金刚口组样品为 0.95-1.13，平均 1.01，样 J-20 和 J-26 的 Ce/Ce*值小于 1，Ce 负异常，为氧化环境[74-78]。

综上所述，结合微量元素和稀土元素判别氧化还原环境的各项指标，表明研究区红土崖组和金刚口组样品均为氧化环境，仅在不同指标中有个别样品为贫氧环境或缺氧环境，如图 5.5 所示。此外，研究区 V/(V+Ni)值均大于 0.45，非氧化环境与其他判别指标值存有显著差异，其原因可能与 V 的含量异常有关，有机质对 V 可能有富集作用和粘土矿物对 V 的吸附作用均能造成 V 含量异常。



(a)V/Cr-Ni/Co氧化还原判别图

(b)V/Cr-U/Th氧化还原判别图

(c)V/Cr-Ce/Ce*氧化还原判别图

（d）V/Cr-Eu/Eu*氧化还原判别图

（e）V/Cr-V/(V+Ni)氧化还原判别图

图 5.5 红土崖组、金刚口组氧化还原判别图

Fig 5.5 The redox discriminant diagrams of Hongtuya and Jingangkou formations

万方数据

6 讨论

6 Discussion

6.1 区内古生物群恢复古环境 (Discussion on the paleoenvironment inversion of the paleogroup in the study area)

生物的演化跟环境息息相关，不同的环境下生存着不同的生物。控制生物演化的因素有很多，其中最主要的两个方面是生物之间的相互作用和环境中物理化学条件的改变。水体的动荡程度、氧化还原性、水体的盐度、湖盆的大小、水深、水温、水质、沉积底床的性质、以及有机质的丰度等都对生物的演化有不同程度的影响[27]。因此，可以通过对古生物的研究，恢复古环境。前人在莱阳盆地上白垩统红土崖组和金刚口组产出大量的恐龙化石和恐龙蛋，及介形类、腹足类微体化石，总结如下[79-84]：

在莱阳盆地晚白垩世王氏群中，产出大量的古生物化石如棘鼻青岛龙 *Tsintaosaurus spinorhinus*，以及金刚口龙 *Chingkankousaurus*、似甘氏四川龙 *Szechuanosauras*、金刚口谭氏龙 *Tanius-sinensis*、莱阳谭氏龙 *Taniuslaiyangensis*、多达 10 层的恐龙蛋化石及龟蛋化石 *Emydoolithus laiyangensis* 等。

还有众多微体古生物化石如腹足类的金刚口假弯星螺 *Pseudancylastrum jingangkouensis* Pan、小旋螺（未定种 1）*Gyraulus sp.*1、诸城褶襞螺 *Zaptychius zhuchengensis* Pan、角状永康罗 *Yongkangia angularia* Pan、微小里氏螺（*Reesidella micra* Pan）、觿螺（未定种 1）*Hydrobia* sp.1 、中屠螺（未定种 2）*Mesolanistes* sp.1、金刚口中屠螺 *Mesolanistes jingangkouensis*、肩螺（未定种 2）（*Gampeloma* sp.2）、刘氏肩螺 *Campeloma liui Chow* 等。

介形类有圆星介未定种 *Metacypris sp.*、光亮小玻璃介 *Candoniella candida* Hao、倾斜玻璃介 *Candona declivis* Ruan.、玻璃介未定种 *Candona* sp.、分离玻璃介 *Candona disjuncta* Hao、女星介未定种 *Cypridea* sp.、西氏枣星介 *Ziziphocypris simakovi* (Mandelstam)、蒙古金星介未定种 *Mongolocypris* sp.、蒙古金星介 *Mongolocypris distributa* (Stankevitch, 1974)等。

双壳类有 *S. shantungense*、*Sphaerium tani*、*Pseudohyria cardiiformis*、*Plicatounio zhuchengensis*、*P.* aff. *gobiensis*、*S. altiformis*、*S. laiyangense* 等。

6.1.1 介形类化石的古生态及古环境

在山东莱阳盆地这次取的 28 个样品中，有化石发现的为样品 J-15、样品 J-18、样品 J-23、样品 J-24，其中金刚口组的样品中介形类破碎严重，难以鉴定属种，

万方数据

本文中鉴定的属种均来自红土崖组的样品 J-15，其中共发现介形类 8 个属 28 种，具体见表 6.1。介形类化石的鉴定分析主要借鉴海拉尔盆地介形类分析与松辽盆地白垩纪介形类分析[46-50]。

1.*Cypridea* 属分子较多，女星介属分子占优势

Cypridea 是白垩纪最常见的属种，在早期和晚期均又发现，数量多类型丰富。并且是山东莱阳盆地红土崖组的优势种，其属种数占发现属种总量的 21.4%，其中女星介属的种类远大于非女星介属，经 Anderson et al.(1967)、勾韵娴（1986）[44]研究得出，优势种为女星介的动物群通常生活在盐度较低的淡水中。山东莱阳盆地研究区中 B 含量均值为 35.82ppm，小于 60ppm 为陆相淡水沉积，正好与女星介占优势相辅相成，证明山东莱阳盆地是以陆相淡水沉积为主。

表 6.1 莱阳盆地白垩纪介形属、种统计表

Table 6.1 Tablele about the water quality distribution of cretaceous ostraceous fossils in Laiyang Basin

属名	种数	占总种数（%）
Cypridea	6	21.4
Candona	6	21.4
Mongolocypris	6	21.4
Mongolianella	3	10.7
Neimongolia	2	7.1
Triangulicypris	1	3.8
Lycopterocypris	2	7.1
Cyclocypris	2	7.1

2.介形类多为壳饰简单，光滑的属种

介形类的壳饰也可以反映其的生活环境，根据叶得泉等（2002）[46-47]研究得出当介形类壳饰光滑占百分比最大，其沉积环境为陆相湖盆；当介形类壳面具有瘤状占百分比最多，其沉积环境为咸化湖-近海湖盆；当介形类壳面具有刺状占百分比最大，见表 6.2，其沉积环境为海相。本研究区发现的介形类化石，光滑壳面占百分比最大，故为陆相湖盆。另外，经杨藩（2002）研究发现介形类壳面瘤饰发育情况，跟盐度关系较大，盐度越高，瘤饰越明显，本研究区介形类壳面多为光滑，无瘤状壳饰发育，故盐度较低，为低盐度淡水沉积[85]。还有孙志城、黄清华等（1997）[35]研究得出，介形类壳饰毛孔类型也与水体盐度有关系，沉积水体为低盐度时，壳面毛孔为简单圆形；沉积水体为高盐度时，壳面毛孔多为不规则复杂筛孔。本研究区介形类化石壳面多为光滑，故为低盐度淡水沉积。叶得泉、张莹（1985）[36]研究得出，壳面蜂窝的形状大小与水深存在某种联系。在大而深并且宁静的湖盆水体中，壳体的蜂窝大并且深，多为多边形具有刺和瘤；在湖盆缩小，水动力较强的浅水区，壳体蜂窝小并且浅，多为圆形，壳壁薄。故研究区为浅水区沉积。

万方数据

表 6.2 莱阳盆地白垩纪介形类壳饰发育统计

Table 6.2 Statistics of shield development in cretaceous period in Laiyang Basin

地区	莱阳盆地	
壳饰时代	白垩系	
属种及所占百分比	种数	%
光滑	21	75
蜂孔	6	21.4
网状	1	3.6
瘤	0	0
刺	0	0

3.淡水介形类占优势

介形类的生活环境多种多样，淡水、半咸水、咸水都能生存有介形类。海相介形类的种类比陆相多，并且壳饰更为复杂。山东莱阳盆地红土崖组介形类化石壳饰简单，多为光滑，基本都属于淡水介形类动物群，具体见表 6.3。

Cypridea 在全世界范围都有发现，分布广泛，在白垩纪早期繁盛，并于白垩纪末期衰退。*Cypridea* 在淡水、至微-半咸水环境种都能生存，适应性非常强，常分布在内陆湖盆与潟湖的砂质泥岩中，壳壁厚，壳饰的发育程度与水体的盐度有关。*Cypridea* 属一般具有蜂窝状网纹，推测它为浅水营底栖爬行生活。

Candona 在亚洲、美洲及欧洲都有发现，分布广泛。现生属种多生活在淡水湖泊、池塘、沼泽、沟或者半咸水湖泊和海湾中。在湍急的水流中也有发现，但多数还是生活在富含硅藻和藻类或富含腐殖质的宁静水域中。*Candona* 并没有游泳能力，主要以营底栖穴居、爬行、掘穴等方式生存。*Candona* 的化石常在陆相沉积盆地和海湾沿岸平原地区的陆相沉积中发现，产出地层岩性主要为粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩，在山东莱阳盆地中产出在红土崖组粉砂岩中。

Mongolocypris 主要在亚洲发现。适应性较弱，主要生存在白垩纪淡水环境中。壳面为光滑，壳饰发育较弱。在山东莱阳盆地中产出在红土崖组粉砂岩中。

Mongolianella 仅在亚洲发现。适应性较弱，仅在白垩纪淡水环境中生存。壳面光滑，无壳饰发育。在山东莱阳盆地中发现于红土崖组粉砂岩中。

Neimongolia 前人在海拉尔盆地中有发现。适应性强，能在淡水、微咸水环境中生存。本此研究在山东莱阳盆地中红土崖组粉砂岩中也有发现，壳面光滑，壳饰发育较弱。

Triangulicypris 在中国、蒙古等地白垩系地层中均有发现，生活环境为淡水。主要产出在类似红土崖组砖红色砂质泥岩中，壳体微小，壳壁厚度一般，壳面光滑。

Lycopterocypris 在中国白垩系地层中发现。生活环境为淡水。壳体小，壳面光滑，本此研究在山东莱阳盆地红土崖组砖红色粉砂岩中也有发现。

万方数据

Cyclocypris 在亚洲、美洲、欧洲都广泛分布。生活在淡水环境中。壳体小，壳壁较厚，壳面光滑。在山东莱阳盆地红土崖组粉砂岩中也有发现。

表 6.3 莱阳盆地白垩纪介形类化石水质分布表

Table 6.3 Tablele about the water quality distribution of cretaceous ostraceous fossils in Laiyang Basin

化石属种	分布			水介质
	莱阳盆地			
	属种	层位分布	国内外分布	
Cypridea	6	红土崖组	世界性	淡水为主、半咸水
Candona	6	红土崖组	世界性	淡水、半咸水
Mongolocypris	6	红土崖组	亚洲	淡水
Mongolianella	3	红土崖组	亚洲	淡水
Neimongolia	2	红土崖组	海拉尔盆地、莱阳盆地	淡水、微咸水
Triangulicypris	1	红土崖组	中国、蒙古	淡水
Lycopterocypris	2	红土崖组	中国	淡水
Cyclocypris	2	红土崖组	亚洲、欧洲、美洲	淡水

4.红土崖组介形类化石较为完整，金刚口组则几乎全部为破碎半壳

在研究分析研究区介形类化石时，发现一个明显的特征：红土崖组介形类化石较为完整，金刚口组则几乎全部为破碎半壳。这个特征对古环境的恢复起到了重要作用。当介形类双壳瓣完整保存数量众多时，生活在沉积速度快并且水体较为宁静水域环境中；当介形类多保存为单半壳时，水体沉积速度缓慢并且水域动荡。表明金刚口组的沉积环境比红土崖组要浅，并且更为动荡。经松辽盆地白垩纪介形类研究可得，水进期，湖水的面积广阔，介形类的壳面光滑，具有简单网状壳饰；水退期，浅湖面积收缩，湖盆的下沉作用变缓慢，水体变浅，水动力作用十分强烈，底质变粗，沉积速度加快，粒度变粗[85]。

表 6.4 各项带特征标志表

Table 6.4 Tablele of each facies characteristic mark

各项指标	深湖相	浅湖相	滨湖相	三角洲前缘相
化石数量	较少	多	少	较少
属种类型	单调	多	低	较低
保存状况	差	好	差	较差
壳壁	薄	较厚	厚	较厚
壳饰特征	多刺	瘤	光滑	光滑
单双壳比例	双瓣壳多	双瓣壳多	单半壳多	单半壳多
化石颜色	黑、深褐	灰、黑	黄、白	黄、灰白
其他化石	鱼、叶肢介	各种化石	轮藻、蚌、螺、碳屑	轮藻、龟鳖、碳屑

万方数据

再结合表 6.4、6.5、6.6，由此，红土崖组介形类壳体多为光滑，具有简单的网状壳饰，全部为完整清晰的双瓣壳，故为水进期浅湖相或河流沉积环境。

金刚口组介形类壳体全部为光滑，无瘤状壳饰，并且个体较少，多为破碎单瓣壳，并且金刚口组岩性为粒度较粗的粉砂岩，说明湖水更浅，为水退期滨湖相沉积环境。

表 6.5 红土崖组与金刚口组介形类壳饰与沉积特征表

Table 6.5 Tablele of ostracoda and sedimentary features of shield in Red Cliff Group and King Kong Port Group

层位	红土崖组	金刚口组
种数	28	太破碎无法鉴定
壳饰特征	光滑和网格状壳饰	光滑
生物生活特征	生物种类多	生物少，浮游生物及植物
泥质砂岩颜色	砖红色	灰绿色、灰白色
沉积相	动静结合浅湖为主夹浅滩相	动水滨湖相
沉积环境	浅湖、河流	滨湖
地球化学环境	氧化	氧化

表 6.6 介形类化石生态特征与湖盆变化关系

Table 6.6 The relationship between the ecological characteristics of ostracoda fossils and lack basin change

生态特征	湖盆：大→小 水域：深→浅
瘤　刺	刺→棒瘤→瘤
蜂　孔	深→浅 大→小
壳　壁	薄→厚
分异度	低→高→低
壳　形	梯形、长方形→椭圆形→圆三角形
长厚比	大→好→差
保　存	差→好→差
数　量	少→多→少

6.1.2 腹足类化石的古环境

前人并未对山东莱阳盆地上白垩统红土崖组与金刚口组的腹足类化石进行充分的研究，并且在中国范围内，对白垩纪腹足类恢复古环境的研究也比较浅显，文献不多。本文结合微量元素地球化学数据的分析和介形类化石的研究对腹足类进行沉积环境的深入探讨，具体见表 6.7。

Hydrobia 在世界范围内广泛分布，本此研究在山东莱阳盆地上白垩统红土崖组与金刚口组均有发现。共发现 6 个属种，占总属种的 37.5%，比例最大，为优势种。前人研究发现此种常在半咸水环境中生存，为半咸水环境的代表属种，但在山东莱阳盆地此次研究发现，结合微量元素地球化学数据的分析和介形类化石的研究表明 *Hydrobia* 也在淡水中生活，可能代表浅湖和湖滨环境。

万方数据

Valvata 在北美洲、欧洲和亚洲均有发现，在研究区莱阳盆地红土崖组和金刚口组也有产出，仅发现 2 个属种，占总数种的 12.5%。盘螺在美国产于温度较低并且较深的死水环境中；在欧洲常发现于湖泊、池塘、流速低的河流、浑浊的水体中；在中、晚侏罗世代表气候干热的湖泊、池塘、流速低的河流和水体浑浊环境。但在山东莱阳晚白垩世，代表炎热潮湿的淡水湖泊、河流相沉积环境。

Parateinostoma 分布在亚洲、欧洲,在莱阳盆地红土崖组、金刚口组均有发现。仅发现一种，占总数种的 6.25%。结合微量元素地球化学数据的分析和介形类化石的研究表明 *Parateinostoma* 为淡水浅湖和湖滨或河流环境。

Gypsobia 在亚洲、欧洲均有分布，本此研究中在莱阳盆地红土崖组、金刚口组均有发现。仅发现一种，占总数种的 6.25%。结合微量元素地球化学数据的分析和介形类化石的研究表明 *Gypsobia* 为淡水浅湖和湖滨或河流环境。

Proauricula 在亚洲、欧洲广泛分布，本此研究中产于莱阳盆地金刚口组。仅发现一种，占总数种的 6.25%。前人在夏庄组灰白色泥灰岩中发现后鳃纲的 *Proauricula*，并推测其可能为浅湖和湖滨相沉积环境。再结合合微量元素地球化学数据的分析和介形类化石的研究表明 *Proauricula* 为淡水浅湖、河流相沉积。

表 6.7 莱阳盆地白垩纪腹足类属、种统计及水介质分布表

Table 6.7 Tablele about the statistics of genus and species of gastropods in cretaceous period and the distribution of water medium in the Laiyang basin

化石属种	分布			占总种数(%)	水介质
	莱阳盆地		国内外分布		
	种数	层位分布			
Hydrobia	6	红土崖组、金刚口组	世界性	37.5%	淡水、半咸水
Valvata	2	红土崖组、金刚口组	北美洲、欧洲和亚洲	12.5%	淡水
Parateinostoma	1	红土崖组、金刚口组	亚洲、欧洲	6.25%	淡水
Gypsobia	1	红土崖组、金刚口组	亚洲、欧洲	6.25%	淡水
Proauricula	1	金刚口组	亚洲、欧洲	6.25%	淡水
Gyraulus	4	红土崖组、金刚口组	世界性	25%	淡水
Parhydrobia	1	红土崖组、金刚口组	北美洲、欧洲和亚洲	6.25%	淡水、半咸水

Gyraulus 在全球广泛分布，莱阳盆地红土崖组、金刚口组均有发现。共发现 6 个属种，占总属种的 25%，比例次多。前人在九佛堂组中、上部紫色泥质粉砂岩中，大量发现 *Gyraulus*，代表其在干旱气候下小水池、池塘边缘环境中生存。

万方数据

本此研究结合合微量元素地球化学数据的分析和介形类化石的研究表明 *Gyraulus* 为淡水浅湖和湖滨或河流环境。

Parhydrobia 在北美洲、欧洲和亚洲分布，本此研究中在莱阳盆地红土崖组、金刚口组均有发现。仅发现一种，占总数种的 6.25%。在现生环境中，耳螺科一般在半咸水环境中生存，已经证明义县组下部为半咸水环境，但在山东莱阳盆地金刚口组中，结合合微量元素地球化学数据的分析和介形类化石的研究表明 *Parhydrobia* 为淡水湖滨或河流相。

6.2 区内地球化学恢复古环境 (Discussion on geochemical inversion of paleoenvironment in the study area)

在用微量元素特征进行古盐度、古气候与氧化还原性的研究中，由于个别样品中某个元素值的异常，对其恢复古环境产生影响，下面具体分析各元素异常的原因及除去异常后红土崖组与金刚口组的古环境分析[2]。

6.2.1 古盐度

在利用 Sr/Ba 值反应沉积环境中，样 J-14 的值相较于其他样品异常的高，原因为 J-14 中 Sr 的值为所有样品中最大，Ba 值为最小，Ba 含量的变化受多种因素影响：1)受载体矿物中钾长石和黑云母的影响，砂岩中 Ba 的含量有较大差异。2）Ba 的硫酸盐溶解度很低，进入湖盆后易形成硫酸钡沉淀，所以 Ba 具有较差的迁移能力。综上，J-14 中 Ba 值小，是由局部湖相沉积或载体矿物造成的。除去具有异常值的 J-14，红土崖组和金刚口组的均为陆相淡水沉积。同时，B/Ga、B 的值也表明其均为陆相沉积。

研究区红土崖组 V+Ni+Cu 含量在样 J-09 中异常高，是由 V 含量过高影响的。造成 V 过高的原因为：1)粘土矿物对钒具有吸附作用，在泥岩和粘土中有较多的钒。2)有机质对钒有富集作用，受此影响在富含有机质的泥岩中常有较高的钒含量。综上，在 J-09 中，岩性为泥岩为主，有较多粘土矿物并且可能含有较多的有机质使 V 含量过高。除去受 J-09 的影响，红土崖组为河流相沉积，金刚口组为河流-湖泊相沉积。

6.2.2 古气候

红土崖组 Sr/Cu 值中 J-14 值异常高与其他样品差值较大。其中 Cu 的含量最低，为 4.33×10^{-6} 远低于红土崖组其他样品；Sr 的含量为 415×10^{-6}，是红土崖组样品中最高的。J-02 中，Sr 的含量为 359.68×10^{-6}，是红土崖组样品中次高的。造成 Cu 含量较低的原因可能为此样品的岩性为泥岩而非砂岩，泥岩中 Cu 的含量低；造成 Sr 含量较高的原因为：1）Sr 在泥质岩与页岩中含量较高，因泥岩中

万方数据

富含碳酸钙，Sr 以类质同象置换碳酸盐中的 Ca^{2+}，在沉积岩中 Ca 与 Sr 呈正相关，故能合理的解释 Sr 的高含量。2）Sr 的富集也受生物化学作用。例如，生物壳体易吸附 Sr，生物死亡后会造成 Sr 的局部富集。当 Sr/Cu 值在 1-10 之间为温湿气候，大于 10 为干旱环境。除去 J-14，其他样品 Sr/Cu 的均值为 12.39，代表红土崖组为炎热干旱环境；同时除去 J-14 与 J-02，其他样品均值为 10，代表红土崖组为潮湿环境。综上，在分析陆相河流沉积的红土崖组古气候时，应排除受岩性和生物作用的影响较大的 J-14 与 J-02，其他样品反应其为潮湿环境。并且红土崖组主要岩性为一套砖红色细、粉砂岩夹砾岩，其中砖红色细、粉砂岩表示炎热潮湿环境。

6.2.3 古氧化还原性

由 V/Cr 值判断氧化还原环境，样品 J-09 和 J-25 中 V 的含量远高于其它样品。原因可能为两样品岩性主要为泥岩，富含有机质。除去样品 J-09 和 J-25 的影响，红土崖组和金刚口组为氧化环境。

V/(V+Ni)值分析出的氧化还原性与其他判断指标完全相反，无参考性。

Ni/Co 值均反映出红土崖组与金刚口组为氧化环境。

Cr 值远远小于其他样品的含量。其原因为：1）砂岩与碳酸盐岩中铬的含量大于泥岩。2）碎屑岩中粒度越大，铬的含量越少。3）有机质的富集促进铬的富集。4)碳酸盐岩中，粘土含量与铬的含量呈正相关。综上，样品 J-09 的而岩性可能为碎屑颗粒较大的砂岩，其中富含有机质。除去 J-09，红土崖组为氧化环境。

万方数据

7 结论

7 Conclusion

本文通过对山东莱阳盆地上白垩统红土崖组和金刚口组中发现的 28 种介形类化石和 16 中腹足类化石结合微量元素地球化学特征分析得到以下认识和结论：

（1）共鉴定出介形类 8 属 28 种，优势种为 *Mongolocypris porrecta* Su、*Mongolocypris distributa* Stankeritch、*Cyclocypris valida* Yuan、*Cypridea cavernosa* Galeeva、*Cypridea cuboida* Ye，在研究区上白垩统红土崖组和金刚口组首次发现的属种有 *Neimonggolia ovala* Ye、*Neimongolia subwuerxunensis* Ye、*Triangulicypris uniformis* Ye、*Lycopterocypris subovatus* Ye、*Lycopterocypris imparilis* Ye。

（2）共鉴定出腹足类 7 属 16 种，优势种为 *Parhydrobia minina* Pan、*Hydrobia langxiensis* Pan 、*Hydeobia anhuiensis* Pan、*Hydrobia datangensis* Yu、*Hydeobia* sp1、*Parateinostoma turriculatum* Yu et Zhang、*Gyraulus* sp.1、*Gyraulus* sp.3，在研究区上白垩统红土崖组和金刚口组首次发现的属种有 *Parateinostoma turriculatum* Yu et Zhang、*Gypsobia sinensis* Gu 与 *Parhydrobia minina* Pan。另外，*Gyraulus neipiaoensis* sp.nov、*Gyraulus* sp.1、*Gyraulus* sp.2、*Gyraulus* sp.3 前人发现于早白垩世中期；*Proauricula* sp1 前人发现在早白垩世中-晚期，说明这几个属种从早白垩世中期至晚白垩一直繁衍生息，没有绝灭。

（3）根据介形类化石的古生态得出莱阳盆地红土崖组的古环境为水进期浅湖相或河流相，金刚口组则为水退期滨湖相。中国晚白垩世的腹足类不仅广泛分布在半咸水，也在淡水浅湖和湖滨或河流中大量生存。

（4）由微量元素地球化学特征判断得出红土崖组为炎热潮湿环境下的河流相沉积，金刚口组为潮湿环境的河流-湖泊相沉积。故山东莱阳盆地红土崖组均为河流-湖泊相沉积环境，其中红土崖组沉积时期气候为炎热潮湿，湖泊以浅湖为主；而金刚口组沉积时期气候较红土崖组时期更加湿润，湖泊以滨湖为主。

万方数据

参考文献

[1] DENNIS, K. J., COCHRAN, J. K., LANDMAN, N. H., et al. (2013). The climate of the late cretaceous: New insights from the application of the carbonate clumped isotope thermometer to western interior seaway macrofossil. *Earth and Planetary Science Letters, 362*, 51-65.

[2] 邓宏文, 钱凯. 沉积地球化学与环境分析[M].甘肃:甘肃科学技术出版社, 1993: 1-154.

[3] 刘英俊, 曹励明. 元素地球化学[M]. 北京:科学出版社, 1894: 1-110.

[4] 王益友, 郭文莹, 张国栋. 几种地球化学标志在金湖凹陷阜宁群沉积环境中的应用[J]. 同济大学学报, 1979(02): 51-60.

[5] 金培红. 山东莱阳早白垩世植物化石及古生态特征[D]. 兰州大学, 2018.

[6] 张岳桥, 李金良, 张田, 等. 胶莱盆地及其邻区白垩纪—古新世沉积构造演化历史及其区域动力学意义[J]. 地质学报, 2008(09): 1229-1257.

[7] 章朋, 旷红伟, 柳永清, 等. 胶莱盆地白垩系林寺山组砾岩沉积特征及盆地演化意义[J]. 沉积学报, 2016, 34(01): 15-32.

[8] 李日辉, 张光威. 山东莱阳盆地早白垩世莱阳群的遗迹化石[J]. 古生物学报, 2001(02): 252-261.

[9] 张增奇, 刘书才, 杜圣贤, 等. 山东省地层划分对比厘定意见[J]. 山东国土资源, 2011, 27(09): 1-9.

[10] 姜同海. 胶莱盆地构造特征及演化[D]. 山东科技大学, 2005.

[11] 邵银川. 胶莱盆地下白垩世莱阳群沉积特征研究[J]. 山东国土资源, 2017, 33(03): 8-13.

[12] 吴琳, 许红, 何将启, 等. 北黄海盆地与朝鲜安州盆地和中国胶莱盆地的对比[J].海洋地质动态, 2004, 20(08): 22-26+2.

[13] 李守军, 贺淼, 杨犇, 等.山东省中生代地层分区、划分与对比[J]. 地层学杂志, 2010, 34(02): 167-172.

[14] 李守军, 谢传礼. 山东莱阳盆地莱阳组时代讨论[J]. 地层学杂志, 1997(03): 74-79.

[15] 陈丕基, 曹美珍, 潘华璋, 等. 山东中生代陆相地层问题[J]. 地层学杂志, 1980(04): 301-309.

[16] 彭楠, 柳永清, 旷红伟, 等. 胶莱盆地早白垩世莱阳群沉积物源及地质意义[J]. 中国地质, 2015, 42(06): 1793-1810.

[17] 佟彦明. 胶莱盆地构造演化研究[D]. 中国地质大学, 2007.

[18] 翟慎德. 胶莱盆地莱阳凹陷构造特征及演化[J]. 石油实验地质, 2003(02): 137-142.

[19] 彭楠, 柳永清, 旷红伟, 等. 胶莱盆地早白垩世莱阳群沉积物源及地质意义[J]. 中国地质, 2015, 42(06): 1793.

[20] 周勇, 纪友亮, 张善文, 等. 胶莱盆地莱阳凹陷莱阳组储层成岩作用及孔隙演化[J]. 吉

万方数据

林大学学报(地球科学版), 2013, 43(02): 340-350.

[21] 李金良. 胶莱盆地沉积分析及构造演化[D]. 中国地质科学院, 2007.

[22] 李远友.山东省胶州市张应地区中生代王氏群化学地层研究[J].新疆有色金属，2017, 40(06): 33-35+37.

[23] 秦杰. 莱阳地区中生代陆相地层多重地层划分及沉积演化[A]. 浙江省国土资源厅、浙江省地质学会. “资源保障 环境安全——地质工作使命”华东六省一市地学科技论坛文集[C]. 浙江省国土资源厅、浙江省地质学会: 浙江省科学技术协会, 2011: 6.

[24] 王元波. 山东莱阳白垩纪国家地质公园综合考察与申报研究[A]. 山东省国土资源厅、山东省地质学会. 地质调查 环境保障 实现找矿新突破-2012 年华东六省一市地学科技论坛文集[C]. 山东省国土资源厅、山东省地质学会: 山东省地质学会, 2012: 6.

[25] 柳永清, 旷红伟, 彭楠, 等. 山东胶莱盆地白垩纪恐龙足迹与骨骼化石埋藏沉积相与古地理环境[J]. 地学前缘, 2011, 18(04): 9-24.

[26] 赵资奎, 严正, 叶莲芳. 山东莱阳恐龙蛋化石的氧、碳稳定同位素组成及其与古环境的关系[J]. 古脊椎动物与古人类, 1983, 21(03): 204-209.

[27] WANG, Q., WANG, X., ZHAO, Z., et al. (2013). New turtle egg fossil from the upper cretaceous of the laiyang basin, shandong province, china. *Anais Da Academia Brasileira De Ciencias, 85*(1), 103-111.

[28] 董丽平. 西藏江孜床得白垩纪介形虫生物地层[D]. 中国地质大学(北京), 2015.

[29] 任荣. 西藏亚东晚白垩世介形虫化石研究[D]. 中国地质大学(北京), 2015.

[30] 杨景林, 王睿, 谢安, 等. 山东蒙阴盆地常路组二段(古新世——早始新世)介形类化石[J]. 微体古生物学报, 2015, 32(04): 438-446.

[31] 张文平. 塔里木盆地西部阿克彻依剖面晚白垩世介形虫生物地层[D]. 中国地质大学(北京), 2017.

[32] 邓丽君. 准噶尔盆地南部侏罗纪—白垩纪介形类生物地层及界线探讨[D]. 中国地质大学(北京), 2012.

[33] 赵泉鸿, 翦知湣, 张在秀, 等. 东海陆架泥质沉积区全新世有孔虫和介形虫及其古环境应用[J]. 微体古生物学报, 2009, 26(02): 117-128.

[34] 庞其清, 张志军, 卢立伍, 等. 河南西峡地区晚白垩世介形虫的发现及其地层意义[J]. 地质通报, 2008(06): 769-784.

[35] 黄清华. 松辽盆地晚白垩世地层及微体古生物群[D]. 中国地质科学院, 2007.

[36] 叶得泉，徐静慧. 松辽盆地白垩纪介形类生物地层学特征[J]. 微体古生物学报，1994(04): 429-438.

[37] 王文生. 内蒙古二连盆地西部早白垩世介形类[J]. 微体古生物学报，1989(04): 373-387+443-446.

万方数据

[38] 关绍曾. 山东莱阳盆地早白垩世中期非海相介形类[J]. 微体古生物学报, 1989(02): 179-188+228.

[39] 杨仁泉. 河北侏罗—白垩纪介形类化石组合及其地层意义[J]. 河北地质学院学报, 1984(04): 30-46.

[40] 庞其清. 河北燕山地区陆相侏罗—白垩系介形类化石及其界限[J]. 河北地质学院学报, 1984(03): 1-16+95-99.

[41] 叶春辉. 中国侏罗-白垩纪非海相介形类组合序列[J]. 科学通报, 1983(12): 743-745.

[42] 郝诒纯, 苏德英, 李友桂, 等.论中国非海相白垩系的划分及侏罗—白垩系的分界[J]. 地质学报, 1982(03): 187-199.

[43] 张立君, 张英菊. 辽宁阜新盆地阜新组介形虫化石[J]. 古生物学报, 1982(03): 362-370+405-406.

[44] 勾韵娴, 曹美珍, 叶春辉. 皖南侏罗-白垩纪介形类[J]. 古生物学报, 1978(01): 45-70+110-115.

[45] 蒋飞虎, 杨静, 王海宏, 等. 内蒙古二连盆地白音查干凹陷早白垩世介形类及其古生态[J]. 微体古生物学报, 2000(03): 265-285.

[46] 叶得泉, 黄清华, 刘振文, 等. 海拉尔盆地白垩纪介形类[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 1-208.

[47] 叶得泉, 黄清华, 张莹, 等. 松辽盆地白垩纪介形类生物地层学[M]. 北京:石油工业出版社, 2002: 1-312.

[48] 侯祐堂, 勾韵娴. 中国介形类化石第二卷[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 1-798.

[49] 侯祐堂, 勾韵娴, 陈德琼. 中国介形类化石第一卷[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 1-1090.

[50] 侯祐堂, 陈德琼, 黄宝仁, 何俊德. 中国介形类化石[M]. 北京: 科学出版社, 1963: 1-112.

[51] 赵秀丽, 李守军. 微体古生物学及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2017: 1-170.

[52] 单青生, 潘云唐. 北京早白垩世东狼沟组非海相腹足类化石[J]. 北京地质, 1994(02): 8-14+33.

[53] 朱祥根. 新疆北部侏罗、白垩纪非海相腹足类[J]. 古生物学报, 1994(01): 85-105+143-146.

[54] 赵资奎, 严正, 叶莲芳. 山东莱阳恐龙蛋化石的氧、碳稳定同位素组成及其与古环境的关系[J]. 古脊椎动物与古人类, 1983, 21(03): 204-209.

[55] 潘华璋. 山东侏罗-白垩纪非海相腹足类[J]. 古生物学报, 1983(02): 210-219+253-254.

[56] 潘花璋, 朱祥根等. 中国晚古生代晚期和中生代非海相腹足类[M]. 安徽: 中国科学技术大学竖版社, 2012: 1-142.

万方数据

[57] 李远友. 山东省胶州市张应地区中生代王氏群化学地层研究[J]. 新疆有色金属, 2017, 40(06): 33-35+37.

[59] 郑德顺, 刘思聪, 徐江红, 等. 豫西南淅川地区灯影组白云岩地球化学特征及其古环境意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2018, 38(04): 112-122.

[60] 刘士林, 刘蕴华, 林舸, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷新近系泥岩稀土元素地球化学特征及其地质意义[J]. 现代地质, 2006, 20(03): 449-456.

[61] WANG, P., WANG, C., SCOTT, et al. (2013). Late cretaceous climate changes recorded in eastern asian lacustrine deposits and north american epieric sea strata. *Earth-Science Reviews, 126*, 275-299. doi:10.1016/j.earscirev.2013. 08.016

[62] YE, C., YANG, Y., FANG, X., et al. (2016). Late eocene clay boron-derived paleosalinity in the qaidam basin and its implications for regional tectonics and climate. *Sedimentary Geology, 346*, 49-59. doi:10.1016/j.sedgeo. 2016. 10. 006

[63] DREXLER, J. Z., PACES, J. B., ALPERS, C. N., et al. (2014). 234U/238U and δ87Sr in peat as tracers of paleosalinity in the sacramento-san joaquin delta of california, USA. *Applied Geochemistry , 40*, 164-179. doi:10.1016/j.apgeochem. 2013.10.011

[64] CULLEN, T. M., FANTI, F., CAPOBIANCO, C., et al. (2016). A vertebrate microsite from a marine-terrestrial transition in the foremost formation (campanian) of alberta, canada, and the use of faunal assemblage data as a paleoenvironmental indicator.*Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 444*, 101-114. doi:10.1016/j.palaeo.2015.12.015

[65] ZHAO, J., WAN, X., XI, D., et al. (2014). Late cretaceous palynology and paleoclimate change: Evidence from the SK1 (south) core, songliao basin, NE china. *Science China Earth Sciences, 57*(12), 2985-2997. doi:10.1007/s11430-014-4975-4

[66] WALTHER, B. D., & NIMS, M. K. (2015). Spatiotemporal variation of trace elements and sTablele isotopes in subtropical estuaries: I. freshwater endmembers and mixing curves. *Estuaries and Coasts, 38*(3), 754-768. doi:10.1007/s12237-014-9881-7

[67] ZHANG, M., LIU, Z., XU, S., et al (2014). Analysis for the paleosalinity and lake-level changes of the oil shale measures in the lucaogou formation in the sangonghe area of southern margin, junggar basin. *Petroleum Science and Technology, 32*(16), 1973-1980. doi:10.1080/10916466.2012.742541

[68] LI, X., JENKYNS, H. C., ZHANG, C., et al. (2014). Carbon isotope signatures of pedogenic carbonates from SE china: Rapid atmospheric pCO2 changes during middle–late early cretaceous time. *Geological Magazine, 151*(5), 830-849. doi:10.1017/S0016756813000897

[69] YANG, R. C., FAN, A. P., HAN, Z. Z. A. et al. (2017). A marine or continental nature of the deltas in the early cretaceous lingshandao formation--evidences from trace elements. 地质学报：英文版*, 91*(1), 367-368. doi:10.1111/1755-6724.13094

[70] LAN, C., HAI, S. Y., LOUIS LOUNG‐Yie, T., et al. (2013). Jurassic black shales facies from qiangtang basin (northern tibet): Rare earth and trace elements for paleoceanographic implications. *Acta Geologica Sinica - English Edition, 87*(2), 540-554. doi:10.1111/1755-6724.12067

[71] 胡俊杰, 李琦, 李娟, 等. 羌塘盆地角木日地区二叠系碳酸盐岩元素地球化学特征及其

万方数据

对古沉积环境的指示[J]. 高校地质学报, 2014, 20(04): 520-527.

[72] LI, H., LIU, G., SUN, R., et al. (2013). Relationships between trace element abundances and depositional environments of coals from the zhangji coal mine, anhui province, china. *Energy Exploration & Exploitation, 31*(1), 89-107. doi:10.1260/0144- 5987.31.1.89

[73] 张振凯, 周瑶琪, 彭甜明, 等. 山东灵山岛莱阳群粉砂岩地球化学特征及意义[J]. 地球科学, 2017, 42(03): 357-377.

[74] 熊小辉, 肖加飞. 沉积环境的地球化学示踪[J]. 地球与环境, 2011, 39(03): 405-414.

[75] 李军, 桑树勋, 林会喜, 等. 渤海湾盆地石炭二叠系稀土元素特征及其地质意义[J]. 沉积学报, 2007(04): 589-596.

[76] YANG, R. C., FAN, A. P., HAN, Z. Z,. et al. A Marine or Continental Nature of the Deltas in the Early Cretaceous Lingshandao Formation——Evidences from Trace Elements[J]. Acta Geologica Sinica(English Edition), 2017, 91(01): 367-368.

[77] 冯乔, 张耀, 徐子苏, 等. 胶莱盆地早白垩世瓦屋夼组、水南组元素地球化学特征与古环境分析[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2018, 37(01): 20-34.

[78] 王鹏万, 陈子炓, 李娴静, 等. 黔南坳陷上震旦统灯影组地球化学特征及沉积环境意义[J]. 现代地质, 2011, 25(06): 1059-1065.

[79] 张俊峰. 山东莱阳中生代晚期昆虫群及其古生态特征[J]. 科学通报, 1992(05): 431-434.

[80] 张俊峰. 山东莱阳晚侏罗世原始蠼螋化石(昆虫纲)的发现及其意义[J]. 古生物学报, 1994(02): 229-245+281.

[81] 姜瑗, 张泽润, 孟宪松. 河南南部早白垩世轮藻植物群及其地层意义[J]. 微体古生物学报, 1985(02): 161-168+221-222.

[82] 陈丕基, 黎文本, 陈金华, 等. 中国侏罗、白垩纪化石群序列[J]. 中国科学(B 辑 化学 生物学 农学 医学 地学), 1982(06): 558-565.

[83] 王水. 甘肃酒泉盆地中新生代轮藻化石[J]. 古生物学报, 1965(03): 463-499+501-509.

[84] 周明镇. 山东莱阳白恶纪后期龟类化石[J]. 古生物学报, 1954 (04): 395-408+463-464+466.

[85] 屈海英. 松辽盆地晚白垩世—早古新世介形类生物地层及壳体同位素组成对环境变化的响应[D]. 中国地质大学(北京), 2014.

万方数据

图版说明

(标本保存在山东科技大学微体古生物实验室，照片线条比例尺为 500μm)

图版 Ⅰ

1. *Mongolianella sectila* Huang et Ye

1 a, 右视；1 b, 左视；1 c, 背视；1 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

2. *Mongolianella palmosa* Mandelstam

2 a, 右视；2 b, 左视；2 c, 背视；2 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

3. *Mongolianella* sp1

3 a, 右视；3 b, 左视；3 c, 背视；3 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

4. *Cyclocypris valida* Yuan

4 a, 右视；4 b, 左视；4 c, 背视；4 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

5. *Cyclocypris* sp1

5 a, 右视；5 b, 左视；5 c, 背视；5 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

6. *Cypridea cavernosa* Galeeva

6 a, 右视；6 b, 左视；6 c, 背视；6 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

7. *Cypridea cuboida* Ye

7 a, 右视；7 b, 左视；7 c, 背视；7 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

图版 Ⅱ

1. *Cypridea nota* Ye

1 a, 右视；1 b, 左视；1 c, 背视；1 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

2. *Cypridea applanata* Ye

2 a, 右视；2 b, 左视；2 c, 背视；2 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

3. *Cypridea eximia* Ye

3 a, 右视；3 b, 左视；3 c, 背视；3 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

4. *Cypridea* SP1

4 a, 右视；4 b, 左视；4 c, 背视；4 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

5. *Mongolocypris porrecta* Su

5 a, 右视；5 b, 左视；5 c, 背视；5 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

6. *Mongolocypris distributa* Stankeritch

6 a, 右视；6 b, 左视；6 c, 背视；6 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

7. *Mongolocypris longiuscula* Zhang

7 a, 右视；7 b, 左视；7 c, 背视；7 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

万方数据

图版 III

1. *Mongolocypris saertuensis* Huang

1 a, 右视；1 b, 左视；1 c, 背视；1 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

2. *Mongolocypris tabulata*(Ding)

2 a, 右视；2 b, 左视；2 c, 背视；2 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

3. *Mongolocypris* sp1

3 a, 右视；3 b, 左视；3 c, 背视；3 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

4. *Candona minora* Ye et Chen

4 a, 右视；4 b, 左视；4 c, 背视；4 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

5. *Candona trigona* Ye

5 a, 右视；5 b, 左视；5 c, 背视；5 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

6. *Candona glaber*(Su)

6 a, 右视；6 b, 左视；6 c, 背视；6 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

7. *Candona fornicata* Ye

7 a, 右视；7 b, 左视；7 c, 背视；7 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

图版 IV

1. *Candona fabiforma* Huang

1 a, 右视；1 b, 左视；1 c, 背视；1 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

2. *Candona* sp 1

2 a, 右视；2 b, 左视；2 c, 背视；2 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

3. *Triangulicypris uniformis* Ye

3 a, 右视；3 b, 左视；3 c, 背视；3 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

4. *Lycopterocypris subovatus* Ye

4 a, 右视；4 b, 左视；4 c, 背视；4 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

5. *Lycopterocypris imparilis* Ye

5 a, 右视；5 b, 左视；5 c, 背视；5 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

6. *Neimonggolia ovala* Ye

6 a, 右视；6 b, 左视；6 c, 背视；6 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

7. *Neimongolia subwuerxunensis* Ye

7 a, 右视；7 b, 左视；7 c, 背视；7 d, 腹视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

万方数据

图版 Ⅴ

1. *Hydrobia langxiensis* Pan

1 a, 侧视；1 b, 口视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

2. *Hydeobia anhuiensis* pan

2 a, 口视；2 b, 背视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

3. *Hydrobia datangensis* Yu

3 a, 口视；3 b, 侧视；山东莱阳盆地；上白垩统金刚口组。

4. *Hydeobia* sp1

4 a, 口视；4 b, 侧视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

5. *Hydrobia* sp.2

5 a, 口视；5 b, 背视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

6. *Parhydrobia minina* Pan

6 a, 口视；6 b, 背视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

7. *Hydrobia* sp.3

7 a, 口视；7 b, 侧视；山东莱阳盆地；上白垩统金刚口组。

8. *Gyraulus neipiaoensis* sp.nov

8 a, 顶视；8 b, 底视；8 c, 口视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

9. *Gyraulus* sp.2

9 a, 顶视；9 b, 底视；9 c, 口视；山东莱阳盆地；上白垩统金刚口组。

图版 Ⅵ

1. *Parateinostoma turriculatum* Yu et Zhang

1 a, 口视；1 b, 背视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

2. *Gypsobia sinensis* Gu

2 a, 口视；2 b, 背视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组。

3. *Gyraulus* sp.1

3 a, 顶视；3 b, 底视；3 c, 口视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组；上白垩统金刚口组。

4. *Gyraulus* sp.3

4 a, 顶视；4 b, 底视；4 c, 口视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组；上白垩统金刚口组。

5. *Valvata*(*Valvata*) *sinensis* Yu et Lee

5 a, 顶视；5 b, 底视；5 c, 口视；山东莱阳盆地；上白垩统红土崖组；上白垩统金刚口组。

万方数据

6. *Valvata(Cincinna)* sp1

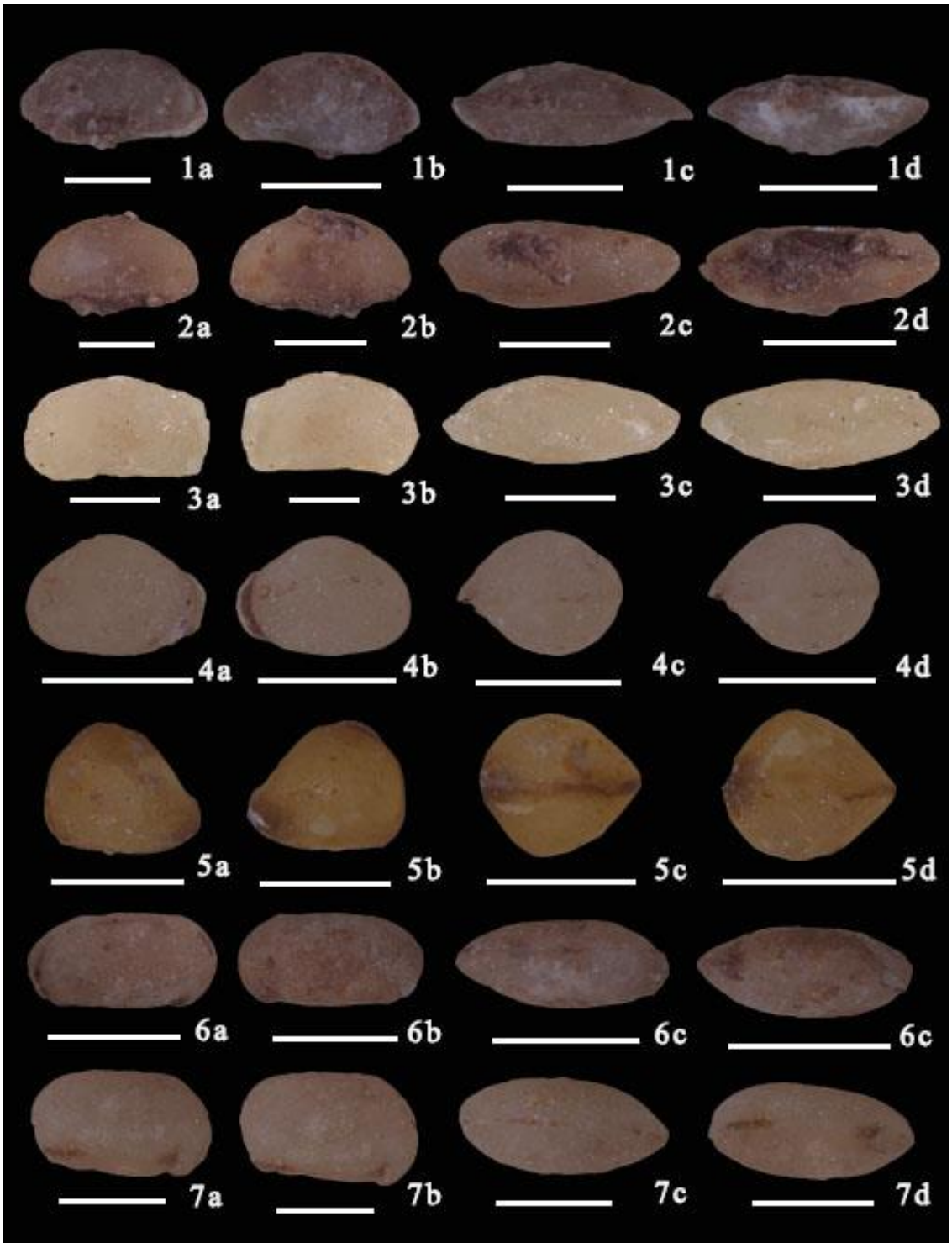
6 a, 顶视；6 b, 底视；山东莱阳盆地；上白垩统金刚口组。

7. *Proauricula* sp1

7 a, 口视；7 b, 背视；山东莱阳盆地；上白垩统金刚口组。

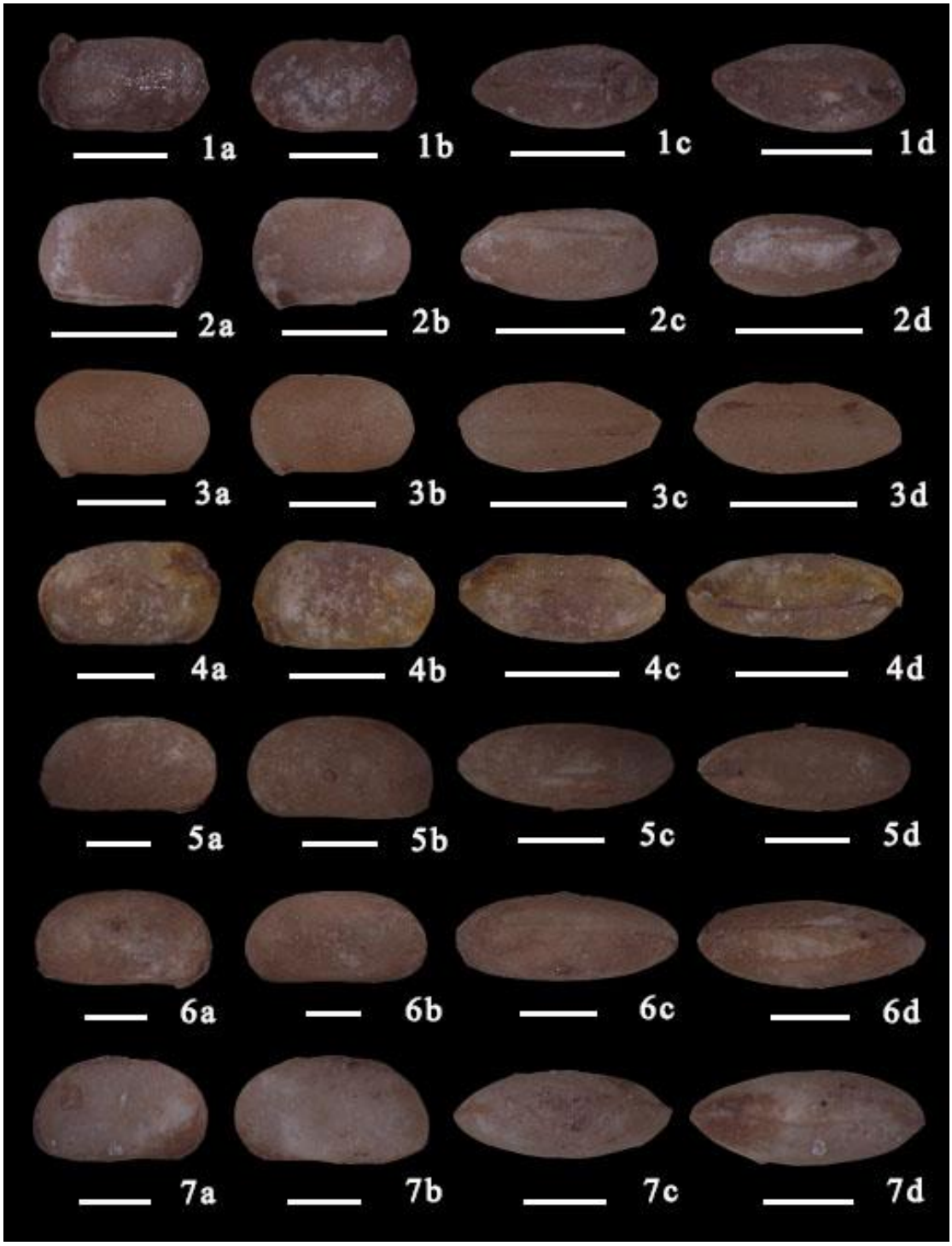
万方数据

图版 Ⅰ


1a
1b
1c
1d
2a
2b
2c
2d
3a
3b
3c
3d
4a
4b
4c
4d
5a
5b
5c
5d
6a
6b
6c
6c
7a
7b
7c
7d

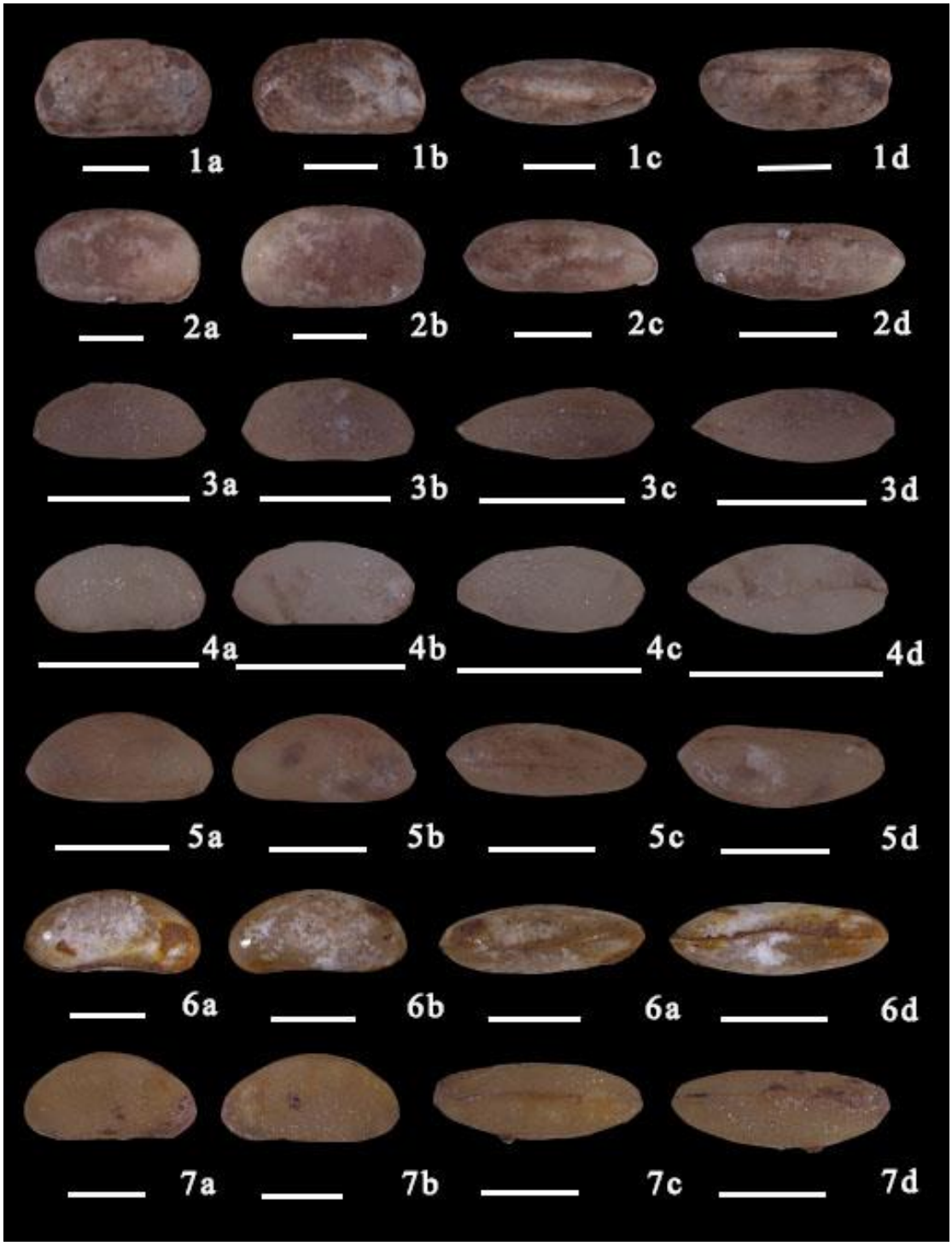
万方数据

图版 II


1a
1b
1c
1d
2a
2b
2c
2d
3a
3b
3c
3d
4a
4b
4c
4d
5a
5b
5c
5d
6a
6b
6c
6d
7a
7b
7c
7d

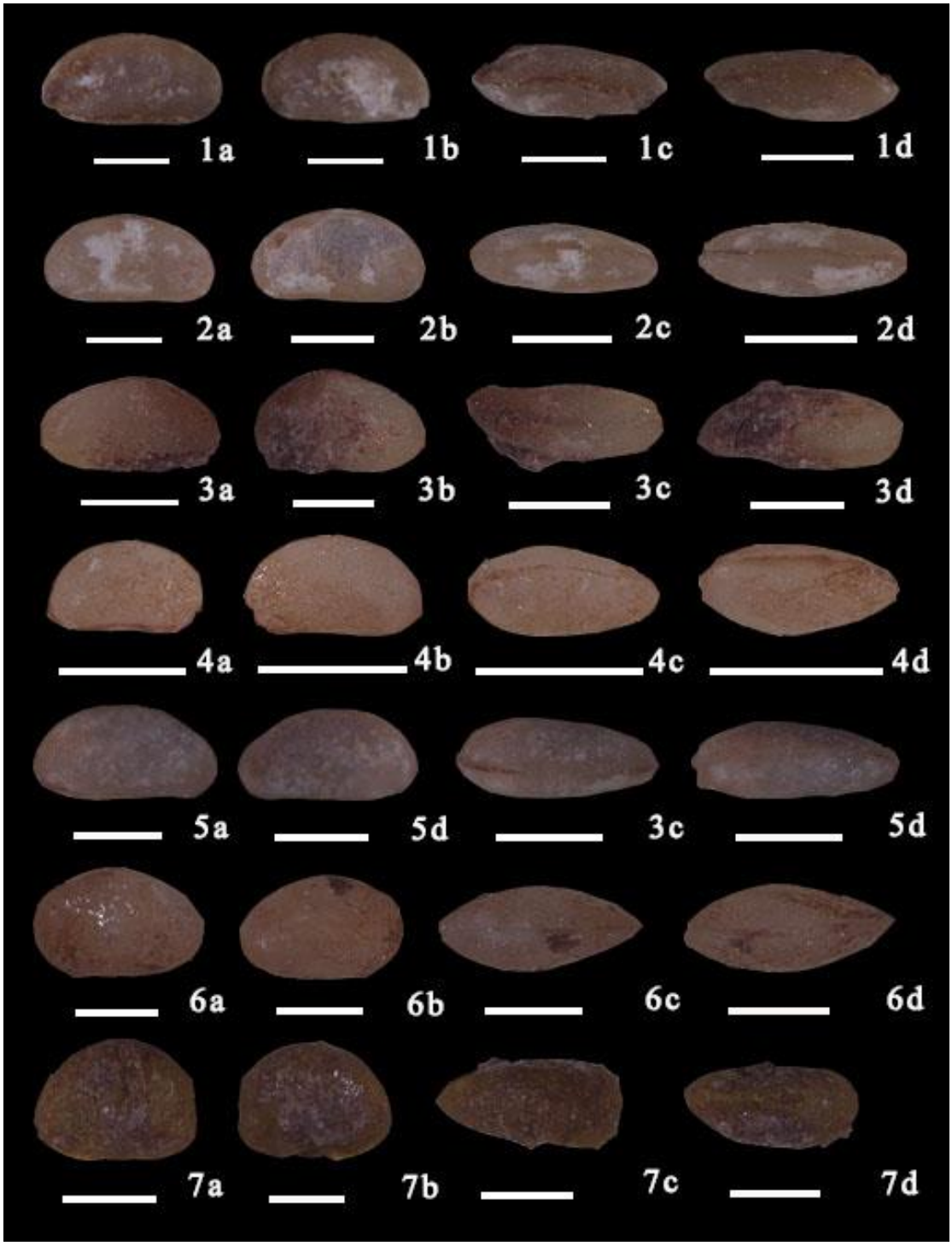
万方数据

图版 III


1a
1b
1c
1d
2a
2b
2c
2d
3a
3b
3c
3d
4a
4b
4c
4d
5a
5b
5c
5d
6a
6b
6a
6d
7a
7b
7c
7d

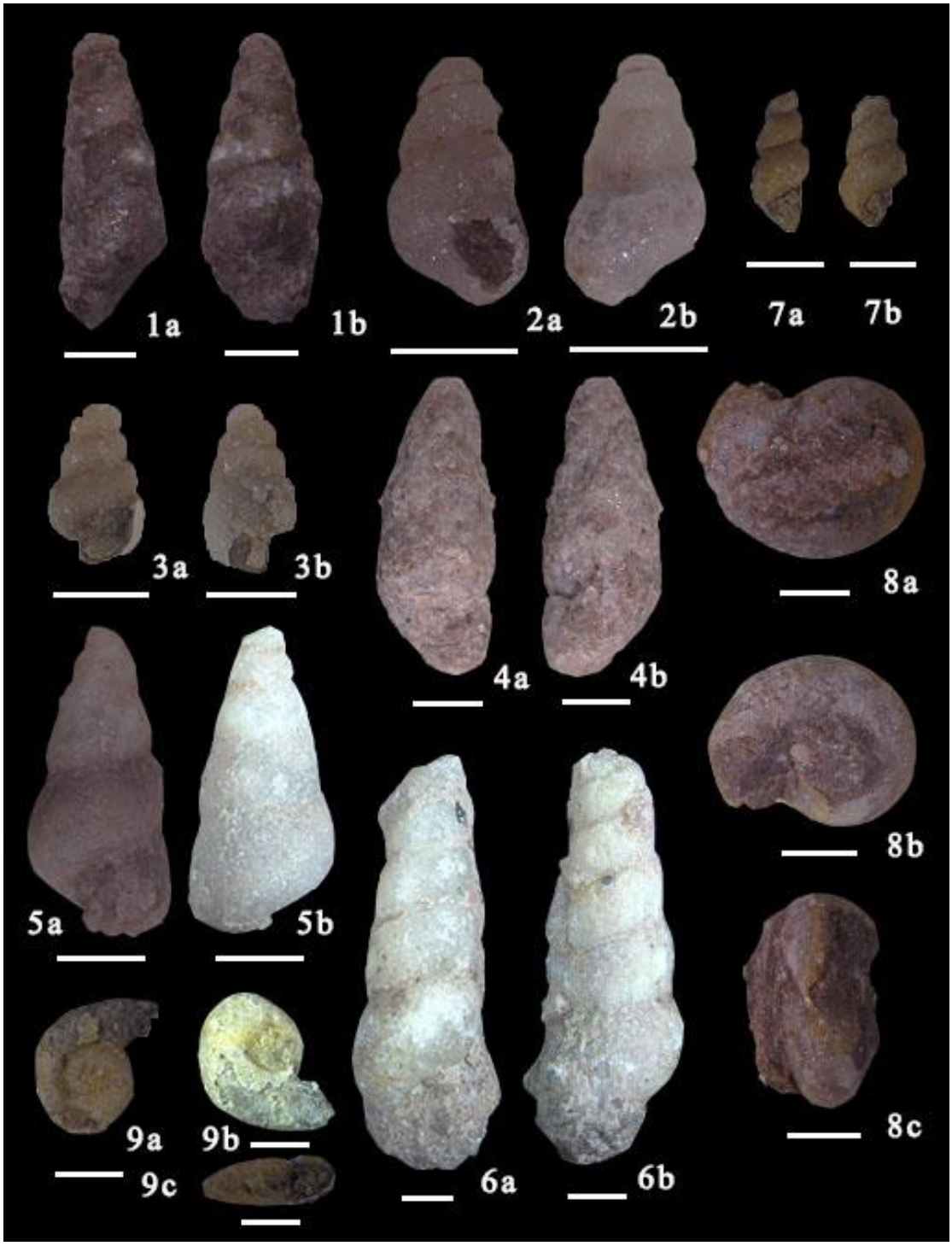
万方数据

图版 Ⅳ


1a
1b
1c
1d
2a
2b
2c
2d
3a
3b
3c
3d
4a
4b
4c
4d
5a
5d
3c
5d
6a
6b
6c
6d
7a
7b
7c
7d

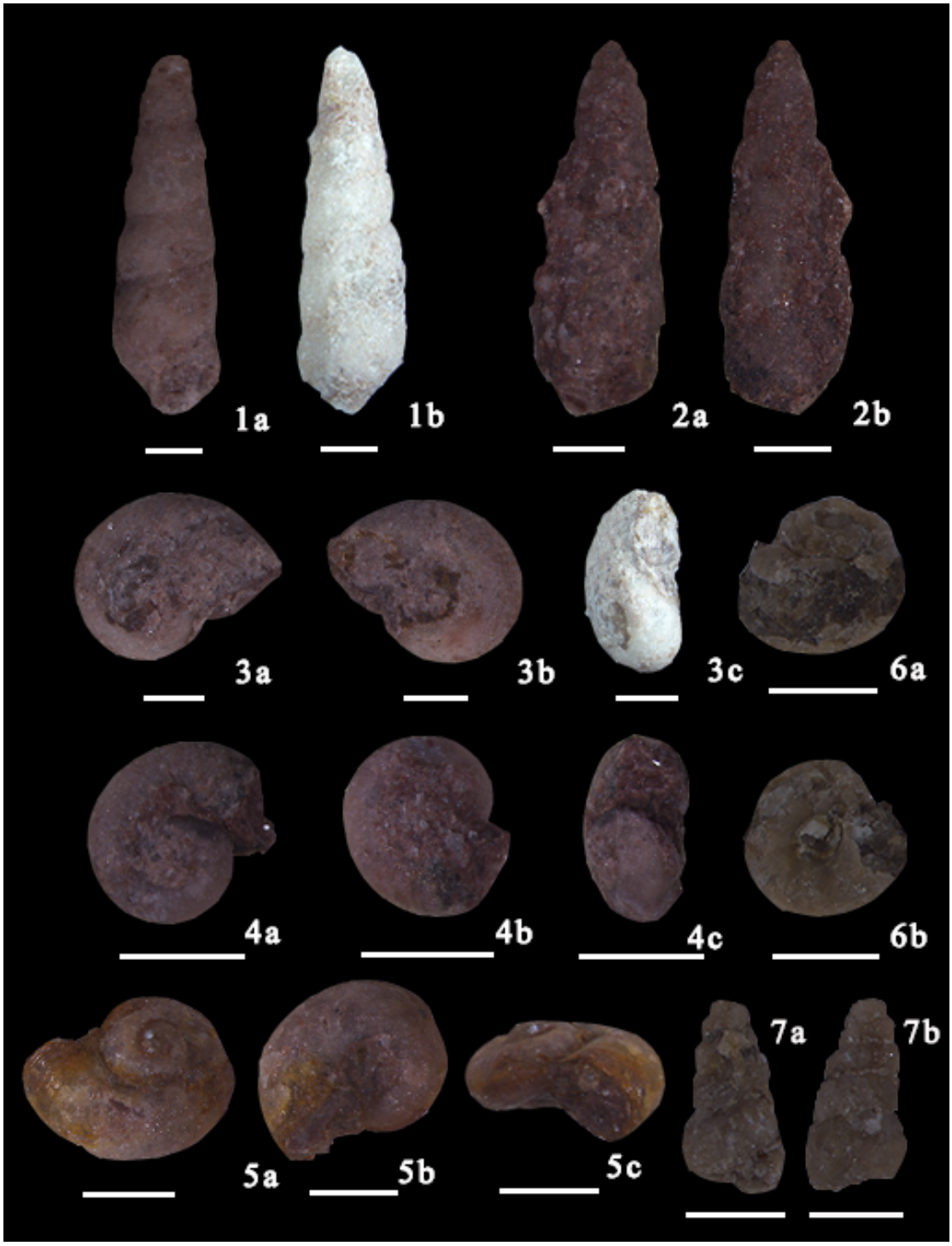
万方数据

图版 V



万方数据

图版 Ⅵ



万方数据

作者简历

一、基本情况

姓名：魏宁 性别：女 民族：汉 出生年月：1993-03-29 籍贯：山东省广饶市

1. 2012.09-2016.07　桂林理工大学

2. 2016.09-2019.07　山东科技大学

二、攻读学位期间发表学术论文情况

1. 李守军,魏宁,耿耿,闫明明,张祥玉,刘宝梅,徐磊.莱阳盆地晚白垩世红土崖组、金刚口组微量元素地球化学特征与古环境分析[J].中国科技论文，2019.

2. 李守军,徐磊,张祥玉,闫明明,耿耿,刘宝梅,魏宁.扇三角洲沉积微相与有利储层的关系：以青东凹陷青东 5 块为例[J].山东科技大学学报（自然科学版）,2019,38(3).,

3 李守军,王德健,闫法堂,杜维雷,徐磊.义北油田大 43 块沙四段滩坝砂体沉积微相及储层分布研究[J].山东科技大学学报（自然科学版）,2018,37（3）：1-10

4. 李守军,刘宝梅,张祥玉,耿耿,闫明明,徐磊,魏宁.鄂尔多斯盆地临兴地区山西组沉积相及其对砂体的控制作用[J].中国科技论文，2019.

5. 李守军,张祥玉,赵秀丽,孙智新,张道元,章磊,徐磊,魏宁,刘宝梅.山东省青岛市灵山岛下白垩统中发现鱼类和叶肢介化石[J].地质论评,2017,63(01):1-6.

三、攻读学位期间获奖情况

1. 2016 年，获山东科技大学研究生新生奖学金

四、攻读学位期间研究项目情况

1. 第 21 届国际沉积学大会资助“鲁东莱阳—诸城—灵山岛白垩纪河流-湖泊相地层、沉积和生物群”项目，主要研究人员；

2. 中石化新疆新春石油开发有限责任公司“苏 13 井区成藏分析与储集层评价”，参加人员。

万方数据

致谢

谨以此文献给李守军教授从事地质科学研究和教学工作30周年。笔者在李老师指导下经历了3年硕士研究生的学习,李老师深厚的专业素养和严谨认真的治学态度让我受益匪浅！同时感谢山东莱阳白垩纪国家地质公园王正东主任,宫永乐工程师在野外考察工作过程中给予的支持和帮助。感谢同门刘宝梅硕士研究生、徐磊硕士研究生参加了胶莱盆地野外考察工作,感谢同门师兄张祥玉、师弟耿耿、闫明明、张硕在生活和学习上对我的帮助。另外，还要感谢山东科技大学，本校“惟真求新”的校训一直在我心中铭记，在它的指引下，使我能在科研道路上不断前进。最后，还要感谢各位评审老师在百忙之中评阅我的论文并提出宝贵意见。

万方数据

学位论文数据集

关键词*	密级*	中图分类号*	UDC	论文资助
莱阳盆地；红土崖组；金刚口组；介形类；腹足类；地球化学；古环境	公开	P52		

学位授予单位名称*	学位授予单位代码*	学位类别*	学位级别*
山东科技大学	10424	理学	硕士

论文题名*	并列题名*	论文语种*
山东莱阳盆地上白垩统微体古生物群及其沉积环境	Micropaleontology and sedimentary environment of Upper Cretaceous in Laiyang Basin, Shandong Province	中文

作者姓名*	魏宁	学号*	160320032
培养单位名称*	培养单位代码*	培养单位地址	邮编
山东科技大学	10424	山东省青岛市	266590
学科专业*	研究方向*	学制*	学位授予年*
古生物学与地层学	微体古生物学	3	2019

论文提交日期*	2019.6.5

导师姓名*	李守军	职称*	教授

评阅人	答辩委员会主席*	答辩委员会成员
	杨仁超	

电子版论文提交格式　文本（　）　图像（　）　视频（　）　音频（　）　多媒体（　）　其他（　）

推荐格式：application/msword; application/pdf

电子版论文出版（发布）者	电子版论文出版（发布）地	权限声明

论文总页数*	62

注：共 33 项，其中带*为必填数据，共 22 项。

万方数据